

Avaliação Microbiológica de uma Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos de uma Indústria Siderúrgica

Ana Paula de Oliveira Amorim

Orientador: Rodrigo de Almeida Mohedano, Msc.

2009
Segundo Semestre

FICHA CATALOGRÁFICA

Amorim, Ana Paula de Oliveira

Avaliação Microbiológica de Uma Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos de uma Indústria Siderúrgica / A.P.O. Amorim. – ed. rev. – Florianópolis, 2009.
129p.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Tratamento de Efluentes Líquidos I. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES LÍQUIDOS DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**

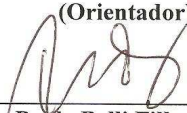
ANA PAULA DE OLIVEIRA AMORIM

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –
TCCII**

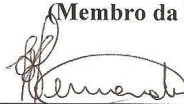
BANCA EXAMINADORA:



**Rodrigo de Almeida Mohedano, Msc.
(Orientador)**



**Paulo Belli Filho, Dr.
(Membro da banca)**



**Heloísa Fernandes, Msc.
(Membro da banca)**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2009**

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por me dar saúde e entusiasmo para concluir meu curso de graduação. Agradeço ao meu esposo, Hisashi, pelo apoio concedido e por tantas vezes suportar meus maus humores com o stress nos momentos mais críticos. Agradeço as minhas filhas queridas, Melissa e Mariana, meus amores, por me ajudarem a manter o ânimo e compreenderem a ausência da mamãe.

Agradeço ao Mestre Rodrigo de Almeida Mohedano, meu orientador, por confiar em mim e pelo apoio e dedicação dispensados durante a realização deste trabalho. Agradeço pela orientação segura, pelas sugestões, pelos conselhos e por partilhar comigo os seus conhecimentos.

Agradeço também aos meus professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial, aos professores Paulo Belli Filho, Henrique de Melo Lisboa, Fernando Soares Pinto SantAnna e Henry Xavier Corseuil pelo apoio e amizade.

Obrigada a Arcelor Mittal Tubarão pela viabilização deste estudo de caso. Um grande obrigado a Fernanda Passamani por sua gentileza, paciência e por toda ajuda concedida. Obrigada, também, a Carlos Alberto de Assis pela presteza e boa vontade.

Faço um agradecimento especial a Renato Machado, meu procurador e grande amigo, por investir seu precioso tempo me auxiliando e socorrendo durante este ano tão difícil. Estou mais agradecida do que sou capaz de dizer.

Quero agradecer imensamente o incentivo e carinho que recebi de minha querida mãe, Kátia, que jamais deixou de acreditar no meu potencial. Obrigada, mãe, pela perseverança e ditos encorajadores.

Também não posso deixar de agradecer minha amiga do coração, Bárbara, por ter me ajudado nos bastidores, cuidando das meninas, sempre me dando força e torcendo por mim.

Sou grata aos amigos Amaral, Biguá, Caroline, Gaúcho, Miotello e Viviane Beiró, que tanto me ajudaram pelos caminhos da engenharia, durante o período em que cursamos as disciplinas da graduação.

Este trabalho também não teria sido possível sem a ajuda da Bernadete e da Marínei.

A todos, muito obrigada!

“Mesmo que eu tivesse o dom da profecia e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, se não tiver amor, não sou nada.”
(1Cor, 13, 2).

RESUMO

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) têm a função de retirar as impurezas dos resíduos líquidos gerados no processo produtivo, assumindo papel estratégico em qualquer atividade industrial. Portanto, entender bem o seu funcionamento é essencial para empresas que tenham como premissa atender aos padrões de qualidade exigidos por normas legais de controle ambiental. O método tradicional utilizado para avaliação e melhoria do desempenho de ETEs baseia-se em análises periódicas dos efluentes para medição de parâmetros físicos e químicos. Recentemente, estudos têm demonstrado que a avaliação microbiológica do lodo pode melhorar significativamente o controle do processo biológico, uma vez que permite verificar se existem microrganismos íntegros e em quantidade adequada ao resíduo a ser tratado, sendo possível interpretar e avaliar diversas tendências do processo, como condições de sedimentabilidade do lodo, remoção de contaminantes ou a presença de compostos tóxicos. Buscou-se, neste estudo, avaliar a eficiência do monitoramento microbiológico no controle operacional da Estação de Tratamento Biológico (ETB) de uma indústria siderúrgica (sistema de lodo ativado com aeração prolongada), caracterizar o efluente e a microbiota presente no lodo ativado, bem como correlacionar a microbiota com parâmetros físico-químicos do processo e, finalmente, identificar grupos biológicos que podem ser usados como bioindicadores da qualidade do efluente. Amostras do efluente bruto, do lodo biológico e do efluente final, foram coletadas com frequência semanal, no período compreendido entre junho de 2008 a outubro de 2009. Avaliou-se qualitativamente e quantitativamente a microbiota presente no tanque de aeração e algumas correlações entre esta e os parâmetros físico-químicos do processo foram encontradas. Durante o período avaliado, a remoção média de sólidos suspensos foi de 71%, a de cianeto foi de 95%, a de DBO foi de 99,7% e a de DQO foi de 96,7%, mostrando que a eficiência do tratamento foi boa e constante, o que evidencia o equilíbrio e a integridade da microbiota. Os resultados mostram que a remoção dos poluentes está associada à diversidade biológica presente no reator, sendo possível utilizar a análise microscópica para fazer avaliações complementares ao monitoramento físico-químico.

Palavras-chave: Coqueria, Lodo Ativado, Microbiologia.

ABSTRACT

Wastewater Treatment Plants (WWTP) reduce contaminants levels from industrial sewages and assume a strategic role during any industrial activity. Understanding how a WWTP works is a condition for companies that seek to meet the quality standards required by legal norms associated with environmental control. The traditional method used to evaluate and improve WWTP's performance involves analyzing periodic samples of the effluent to measure physical-chemical parameters. Researchers have been discovering that microbiological sludge studies can identify deficiencies of the treatment besides generate reports that consider the environmental and operational events. Microfauna and bacteria found in an activated sludge WWTP of a Coke-oven Industry was characterized and correlated to the physical-chemical parameters. Additionally, it was verified the relationship between the treated effluent quality and the biological groups found in the aeration tank. During the sampling period the Activated Sludge system demonstrated high efficiency. It was possible to associate the quality of treatment to the biology diversity of microorganisms settled up into the sludge.

Key words: Coke-oven, Activated Sludge, Microbiology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma dos processos siderúrgicos de uma usina integrada.	5
Figura 2 – Principais produtos obtidos a partir da destilação do carvão.	7
Figura 3 – Flocos biológicos formados por bactérias formadoras de flocos.	17
Figura 4 – Microrganismos freqüentemente encontrados em sistemas de lodos ativados.	18
Figura 5 – Protozoários presentes em Estações de Tratamento de Efluentes.	23
Figura 6 – Mapa do Brasil com a localização da área de estudo.	30
Figura 7 – Visão geral da Estação de Tratamento Biológico da Arcelor Mittal Tubarão.	31
Figura 8 – Fluxograma da Estação de Tratamento Biológico da Arcelor Mittal Tubarão.	33
Figura 9 – Ponto de coleta das amostras de licor bruto e lodo biológico (TK- 02).	34
Figura 10 – Amostras de licor amoniacal e de lodo biológico.	34
Figura 11 – Concentrações de fenóis totais presentes no efluente durante o período de avaliação.	43
Figura 12 – Concentrações de DBO presentes no efluente durante o período de avaliação.	44
Figura 13 – Concentrações de DQO presentes no efluente durante o período de avaliação.	45
Figura 14 – Concentrações de cianeto total presentes no efluente durante o período de avaliação.	45
Figura 15 – Valores de pH do efluente durante o período de avaliação.	46
Figura 16 – Colônia de nitrobactérias (bactérias nitrificantes).	47
Figura 17 – Variação do número total de colônias de bactérias nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04g) no decorrer do período amostral.	48
Figura 18 – Variação do número de colônias de bactérias nitrificantes (pequenas, médias e grandes) no decorrer do período amostral.	49
Figura 19 – Densidade parcial dos microrganismos indicadores encontrados no lodo.	51
Figura 20 – Diversidade de protozoários e metazoários presentes no lodo da ETB.	52
Figura 21 – Densidade de bactérias filamentosas.	54
Figura 22 – Índice volumétrico (IVL) e índice densimétrico (IDL) do lodo.	54
Figura 23 – Morfologia dos flocos biológicos.	55

Figura 24 – Velocidade de crescimento das bactérias em função da concentração de substrato.	61
Figura 25 – Redução das concentrações de SST.	64
Figura 26 – Redução das concentrações de DBO.	64
Figura 27 – Redução das concentrações de DQO.	65
Figura 28 – Redução das concentrações de cianeto total.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtos, subprodutos e poluição ambiental nas etapas de produção do aço.....	8
Tabela 2 – Características de efluentes de coqueria.....	11
Tabela 3 – Limites de lançamento de efluentes segundo a Resolução CONAMA 357/05.....	15
Tabela 4 – Gêneros de bactérias comumente encontrados em lodos ativados.....	19
Tabela 5 – Reações promovidas pelos principais gêneros de bactérias encontradas em lodos ativados.....	20
Tabela 6 – Relação entre o desempenho do sistema e a presença de grupos dominantes de protozoários dominantes na microfauna.....	25
Tabela 7 – Fatores bióticos e abióticos que afetam a taxa de crescimento dos microrganismos presentes na biocenose dos lodos ativados.....	27
Tabela 8 – Microorganismos indicadores das condições de depuração.....	28
Tabela 9 – Parâmetros físico-químicos avaliados.....	36
Tabela 10 – Características observadas para classificação dos flocos.....	38
Tabela 11 – Caracterização do efluente bruto (licor amoniacal) gerado na Coqueria da Arcelor Mittal Tubarão.....	41
Tabela 12 – Densidade dos protozoários e metazoários encontrados no lodo ativado (organismos/gota).....	50
Tabela 13 – Escala de Jenkins <i>et al.</i> (2003) para densidade de bactérias filamentosas.....	53
Tabela 14 – Coeficientes de correlação dos parâmetros físico-químicos do efluente com a microbiota.....	56
Tabela 15 – Coeficientes de correlação entre os parâmetros físico-químicos do processo e a microbiota.....	59
Tabela 16 – Coeficientes de correlação entre a microbiota, a porcentagem de remoção da DBO e DQO e a concentração de SST presente no efluente final.....	62
Tabela 17 – Parâmetros do efluente final e eficiência de remoção dos contaminantes.....	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

µg	micrograma
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CL-01	Clarificador Primário
CL-02	Clarificador Secundário
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Carbono Orgânico Volátil
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
ETB	Estação de Tratamento Biológico
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
g	grama
h	hora
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
IDL	Índice Densimétrico do Lodo
ISO	International Organization for Standardization
IVL	Índice Volumétrico do Lodo
Kg	Kilograma
L	Litro
mg	miligrama
mL	mililitro
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
SSD	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
TK-01	Tanque de Passagem
TK-02	Reator Biológico
TQ-01	Tanque de Equalização 1
TQ-02	Tanque de Equalização 2
WEF	Water Environment Federation

LISTA DE SÍMBOLOS

A/M	Relação alimento/microrganismo
As	Arsênio
Au	Ouro
C ₆ H ₅ OH	Forma molecular do fenol
Cd	Cádmio
CN ⁻	Cianeto
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Fe	Ferro
Fe-C	Liga ferro-carbono
H	Hidrogênio
Hg	Mercúrio
NH ₃	Amônia livre
Ni	Níquel
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
°C	Graus Celsius
Pb	Chumbo
ppm	Partes por milhão
r	Coefficiente de correlação não paramétrico de Spearman
S	Enxofre
SCN	Tiocianato
SO ₂	Dióxido de enxofre
Zn	Zinco

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	A indústria siderúrgica	4
3.1.1	Visão geral dos processos siderúrgicos	4
3.1.2	A unidade de coqueria e a geração de despejos líquidos.....	7
3.1.3	Problemas de saúde pública e ambiental associados aos despejos da coqueria.....	13
3.1.4	Legislação	14
3.1.5	Tratamento biológico dos efluentes de uma usina siderúrgica	15
3.2	Microbiologia de lodos ativados	17
3.2.1	Bactérias.....	18
3.2.2	Protozoários.....	21
3.2.3	Metazoários	24
3.2.4	Fungos	26
3.3	Monitoramento microbiológico da ETE	26
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1	Caracterização da área de estudo	30
4.2	Caracterização do sistema de tratamento de efluentes	32
4.3	Caracterização físico-química do efluente	33
4.3.1	Amostragem	33
4.3.2	Análises físico-químicas	35
4.4	Caracterização microbiológica.....	37
4.5	Correlação da microbiota com os parâmetros físico-químicos	39

4.6	Identificação de bioindicadores.....	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Caracterização físico-química do efluente	41
5.2	Caracterização microbiológica do lodo	47
5.2.1	Diversidade de microrganismos	47
5.2.2	Bactérias e morfologia dos flocos biológicos	53
5.3	Correlações dos parâmetros físico-químicos do efluente com a microbiota.....	56
5.4	Correlações entre os parâmetros físico-químicos do processo e a microbiota.....	58
5.5	Identificação de bioindicadores e qualidade do efluente final..	61
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APENDICE A – RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES MICROBIOLÓGICAS		
APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS		
APÊNDICE C – TESTES ESTATÍSTICOS		

1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), uma vez que têm a função de retirar as impurezas dos resíduos líquidos gerados no processo produtivo e devolvê-los tratados à natureza, assumem papel estratégico em qualquer atividade industrial. Por este motivo, entender bem o seu funcionamento é essencial para empresas que tenham como premissa atender aos padrões de qualidade exigidos por normas legais de controle ambiental.

De forma geral, as ETEs recebem as águas residuárias e as submetem a uma série de processos físicos, químicos e biológicos que têm por objetivo eliminar da água contaminada as diversas substâncias indesejáveis nela contidas. O processo de tratamento biológico por lodos ativados é um dos mais utilizados no mundo e também no Brasil (VILANOVA *et al.*, 2004; FERREIRA *et al.*, 2008). O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio.

O método tradicional utilizado para avaliação e melhoria de desempenho de ETEs baseia-se em analisar as amostras periódicas do efluente para medição de parâmetros físico-químicos. As informações obtidas destas análises indicam se os padrões de emissão do efluente estão ou não de acordo com a legislação e podem apontar algumas medidas corretivas emergenciais para um dado problema, sem precisar a solução a médio e longo prazo.

Sabe-se que o reator biológico de uma ETE, operando por via biológica, é um verdadeiro ecossistema, formado por várias espécies de bactérias, protozoários, metazoários e algas (JENKINS, *et al.*, 1993). Esses organismos são extremamente sensíveis as alterações no processo, alternando-se no sistema em resposta as mudanças nas condições biológicas, físico-químicas e ambientais. Recentemente, estudos têm demonstrado que a avaliação microbiológica do lodo melhora significativamente o controle do processo biológico (COSTA *et al.*, 2003; BENTO *et*

al., 2005; MENDONÇA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2009). Esta avaliação conta com análise microscópica e com o acompanhamento da densidade populacional e identificação das espécies que habitam a estação. O monitoramento microbiológico permite verificar se existem microrganismos íntegros e em quantidade adequada ao resíduo a ser tratado, sendo possível interpretar e avaliar diversas tendências do processo, como por exemplo, eficiência na remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), condições de sedimentabilidade do lodo, presença de compostos tóxicos, dentre outros.

O presente estudo objetivou avaliar o emprego do monitoramento microbiológico como ferramenta de controle operacional da ETE que trata os efluentes líquidos provenientes da coqueificação do carvão da usina Arcellor Mittal Tubarão, buscando caracterizar e quantificar a microbiota presente no tanque de aeração, bem como determinar a sua correlação com os parâmetros físico-químicos do processo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência do monitoramento microbiológico no controle operacional da Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria siderúrgica.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efluente no lodo ativado da ETE da Arcelor Mittal Tubarão, através de parâmetros físico-químicos;
- Avaliar a microbiota presente no lodo ativado da ETE da Arcelor Mittal Tubarão;
- Correlacionar a microbiota com os parâmetros físico-químicos do processo;
- Identificar grupos biológicos que podem ser usados como bioindicadores da qualidade do efluente para contribuir com a eficiência de operação na ETE.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A indústria siderúrgica

A indústria siderúrgica caracteriza-se pelo suprimento de bens intermediários para a maior parte dos diferentes setores econômicos. Recentemente, materiais como plástico e alumínio tornaram-se presentes em diversas atividades cotidianas, porém o aço ainda é a principal fonte de material básico da indústria, especialmente, àquela ligada a bens de consumo duráveis e a bens de capital. Ao final do ano de 2007, a produção mundial de aço bruto superou a marca de 1,3 bilhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, IBS, 2008). De acordo com o Instituto Aço Brasil (2009), a indústria do aço nacional foi responsável pela produção, em 2008, de 33,7 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a nona posição no ranking da produção mundial.

3.1.1 Visão geral dos processos siderúrgicos

Os principais insumos empregados na fabricação do aço são: o minério de ferro, o carvão, a sucata e a energia elétrica. A importância relativa desses insumos varia de acordo com a rota tecnológica adotada em cada usina. Nas usinas integradas clássicas prevalecem o carvão mineral e o minério de ferro (MOURÃO, 2001; OLIVEIRA, 2007 *in* QUEIROZ, 2009).

As usinas integradas promovem a transformação do minério de ferro em produtos siderúrgicos semi-acabados ou acabados (laminados). Tradicionalmente, esse processo requer coquerias, alto-fornos, aciaria e laminadores. A Figura 1 apresenta um fluxograma dos processos siderúrgicos típicos de uma usina integrada.

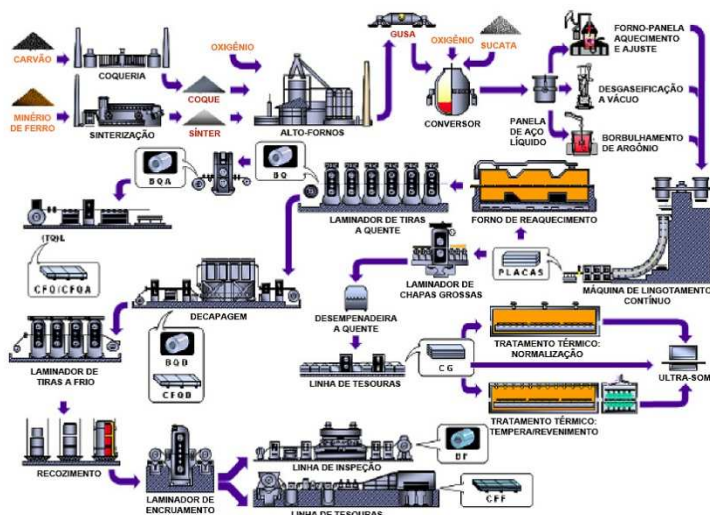


Figura 1 – Fluxograma dos processos siderúrgicos de uma usina integrada.

(Fonte: QUEIROZ, 2009).

De acordo com Oliveira (2007), o processo produtivo integrado compreende três fases distintas. A primeira é denominada redução e seu objetivo principal é transformar o minério de ferro – encontrado na natureza geralmente na forma de óxido de ferro – em ferro-gusa. A segunda fase, o refino, produz o aço propriamente dito solidificando-os em aciarias. Para tanto, o processo mais difundido é o lingotamento contínuo. A laminação, que transforma produtos semi-acabados (placas, blocos e tarugos) em acabados, constitui a terceira fase do processo produtivo integrado. Além do minério e do carvão, a rota tecnológica integrada requer o uso de fundentes, como o calcário nos alto-fornos e de oxigênio líquido nos conversores.

A produção de aço consiste, resumidamente, das seguintes etapas:

- **Unidade da coquearia:** ocorre a destilação do carvão mineral a altas temperaturas (de 1040 a 1090 °C) e na

ausência de oxigênio durante um período de 16 a 20 horas para a obtenção do coque e gases que são processados na unidade de tratamento de gás, recuperando somente o alcatrão.

- **Unidade da sinterização:** grande parte do minério de ferro é aglomerada por meio de aquecimento em bloco poroso e em presença de ar, utilizando-se cal e finos de coque, resultando em um produto chamado *sinter*. De acordo com Paulinyi (2005), o *sinter* ainda quente é britado e peneirado separando-se os finos e a parte granulada. Os finos retornam à máquina de sinterização e os granulados são encaminhados ao alto-forno.
- **Alto-forno:** reduz-se e funde-se o minério de ferro obtendo-se um produto intermediário que é o ferro-gusa, o qual é processado nos convertedores para a produção do aço final. O combustível utilizado é o coque. O carregamento é feito em camadas, alternando-se cargas de combustível redutor e cargas de minérios fundentes. O ferro-gusa é uma liga de Fe-C, proveniente da fusão redutora do minério de ferro. Possui baixa resistência mecânica e elevada dureza. Contem impurezas como o silício, fósforo, enxofre, e manganês, entre outros.
- **Aciaria:** ocorre o processo de refino, onde se transforma o ferro-gusa em aço pela oxidação das impurezas através de um jato de oxigênio de alta velocidade e pressão que incide sobre o banho metálico reduzindo o teor de carbono de acordo com as especificações do aço a ser produzido. Após a conversão a aço, o material é enviado para a unidade de metalurgia da panela, onde ocorre a adição de elementos de liga visando a produção de diferentes tipos de aço, a desoxidação, para remover o oxigênio dissolvido no aço e a desoxidação a vácuo, para realizar o refino final do aço e acerto da temperatura.
- O aço líquido dos convertedores é lingotado de forma contínua para a produção de placas e, logo, enviado para a unidade de laminação de tiras a quente, onde as placas

são reaquecidas em temperatura acima da temperatura crítica do aço a fim de reduzir sua seção longitudinal.

3.1.2 A unidade de coqueria e a geração de despejos líquidos

Os produtos, subprodutos, emissões, resíduos e efluentes de uma usina integrada a coque em cada etapa do processo de produção estão apresentados na Tabela 1. Cabe destacar que, segundo Abreu e Lima (2007), incluem-se em quase todas as etapas as emissões dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, compostos orgânicos voláteis (COV), materiais particulados totais, bifelinas policloradas, dibenzo-dioxinas policloradas, benzeno e metano.

Percebe-se que o processo de coqueificação permite a obtenção de gases e inúmeros subprodutos (BRAILE; CAVALCANTI, 1993), conforme ilustrado esquematicamente na Figura 2.

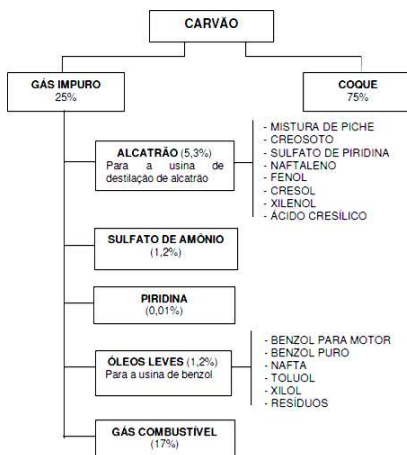


Figura 2 – Principais produtos obtidos a partir da destilação do carvão.

(Fonte: ARAÚJO, 1997)

Tabela 1 – Produtos, subprodutos e poluição ambiental nas etapas de produção do aço.

Etapa	Produtos	Subprodutos	Emissões	Resíduos	Efluentes
Coqueria	Coque, moinha (finos de coque), gás de coque, água amoniacal.	Gás de coque, alcatrão, óleos leves, amônia, sulfato amoníaco, enxofre.	(mistura de solução amoniacal com água da torre de apagamento + subprodutos: NH ₃ , CN, fenóis, benzeno, etc.), particulados do carregamento, coqueificação, desenformamento da torre de apagamento, CN, fenóis, benzeno, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , etc.).	-	(mistura de solução amoniacal + água da torre + subprodutos), fenóis, benzeno, NH ₃ , CN.
Sinterização	Sinter.	-	Mistura de NH ₃ , CN, fenóis, Fe, Zn, CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , elementos tóxicos (Cd, As, Hg, Ni, Pb), dioxinas, furano.	Mistura de poeiras da caixa de vento, lamas residuais de tratamento de filtros e lavadoras.	Lamas de desentupimentos, NH ₃ , Fenóis, Fe, Zn, elementos tóxicos (Au, Hg, Ni, Pb).
Alto-forno	Ferro-gusa líquido.	Gás de topo, escória.	H, S, NH ₃ , CN, fenóis, CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , Fe, Zn,	Mistura de poeiras da cast-house,	Lamas de desentupimentos,

Etapa	Produtos	Subprodutos	Emissões	Resíduos	Efluentes
			elemento tóxico (Pb), gás de topo (combustível), cast-house.	escória, refratários, lamas de tratamento de água.	resfriamento e granulação da escória, NH ₃ , CN, fenóis, Fe, Zn, elementos tóxicos (Au, Hg, Ni, Pb).
Aciaria	Aço líquido.	Escória.	CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , Fe, Zn, elemento tóxico (Cr, Ni, Cd, Pb).	Poeiras dos processos, escória, lamas do tratamento de água, preparo da sucata, refratários, Fe, Zn, elementos tóxicos (Cr, Ni, Cd, Pb).	Lavagem do gás, Fe, Zn, elementos tóxicos (Cr, Ni, Cd, Pb).
Laminação	-	-	-	Óleos e graxas, Fe, Zn, elementos tóxicos (Cr, Pb, Ni).	Resfriamento do molde secundário, óleos e graxas, Fe, Zn, elementos tóxicos (Cr, Pb, Ni).

(Fonte: adaptado de ABREU E LIMA, 2007)

Águas residuárias de coquerias são geralmente uma composição de licor amoniacal, despejos da planta de óleos leves e vários gases menores, todos gerados no setor de subprodutos da coqueria. Os contaminantes presentes nestas águas incluem amônia, cianetos, tiocianetos, fenóis e outras substâncias orgânicas como os aromáticos mono e policíclicos contendo nitrogênio, oxigênio e enxofre, e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (YIBO *et al.*, 1991 *in* AUN, 2007).

As águas amoniacais ou licor amoniacal correspondem às águas de condensação produzidas durante o resfriamento do gás de coqueria destilado. Esse despejo contém a maior parte do nitrogênio do carvão na forma de hidróxido de amônio e seus sais como carbonatos e, em menor grau, sulfatos e cloretos. A partir da água contida na carga de carvão destilado, são produzidos entre 95 a 135 litros de licor amoniacal (CONSIDINE *et al.*, 2001). Paulinyi (2005), afirma que os contaminantes típicos no efluente de coqueria são:

- Amônia – concentração típica de 4000 mg/L
- Sólidos suspensos – concentração típica de 100 mg/L
- Fenóis – concentração típica de 1000 mg/L
- Cianetos – concentração típica de 90 mg/L
- Sulfetos – concentração típica de 200 mg/L
- Óleos e graxas – concentração típica de 100 mg/L

Contudo, as concentrações de contaminantes presentes no licor amoniacal variam em função da temperatura de coqueificação, além do tipo de carvão utilizado. Kostenbader e Flecksteiner (1969) relataram que, como regra geral, aumentos na temperatura de cozimento resultam em concentrações mais baixas de fenol e mais altas de cianeto. A Tabela 2, compilada por Aun (2007), exemplifica a composição de alguns despejos gerados em coquerias de indústrias siderúrgicas integradas.

Tabela 2 – Características de efluentes de coqueria.

Constituinte	Concentração	Referência
DQO (mg O₂/L)	958	FANG; YEONG (1993)
	3000	FITTIPALDO <i>et al.</i> (1997)
	525-810	GHOSE (2004)
	500-1500	LEE; PARK (1998)
	400-1300	LI <i>et al.</i> (2005)
	1240-1850	YI <i>et al.</i> (1994)
	1500-1800	YIBO <i>et al.</i> (1991)
	700-2000	ZHANG <i>et al.</i> (1998)
Compostos fenólicos (mg/L)	≤ 2500	BARTON <i>et al.</i> (1978)
	600	FITTIPALDO <i>et al.</i> (1997)
	219	GANCZARCZYK (1979)
	81-123	GHOSE (2004)
	900-5000	KINDZIERSKI <i>et al.</i> (1991)
	200-500	KOSTENBADEN; FLECKSTEINER (1969)
	170-232	LEE; PARK (1998)
	138-160	YI <i>et al.</i> (1994)
	100-200	YIBO <i>et al.</i> (1991)
Amônia (mg N-NH₃/L)	94	FANG; YEONG (1993)
	337-562	GHOSE (2004)
	700-1000	LEE; PARK (1998)
	230-668	LI <i>et al.</i> (2005)
	220-250	YIBO <i>et al.</i> (1991)
	300-700	ZHANG <i>et al.</i> (1998)

Constituinte	Concentração	Referência
Cianeto (mg CN⁻/L)	10-50	BARTON <i>et al.</i> (1978)
	30	FITTIPALDO <i>et al.</i> (1997)
	8-20	GHOSE (2004)
	10-20	LEE, PARK (1998)
	30-35	LI <i>et al.</i> (2005)
	1,8-4,4	YI <i>et al.</i> (1994)
Tiocianato (mg SCN⁻/L)	5-21	YIBO <i>et al.</i> (1991)
	100-300	BARTON <i>et al.</i> (1978)
	194	GANCZARCZYK (1979)
	50-100	LEE-PARK (1998)
	142-187	YI <i>et al.</i> (1994)
Benzeno (mg COT/L)	190-210	YIBO <i>et al.</i> (1991)
	11	YI <i>et al.</i> (1994)
Tolueno (mg COT/L)	28	LEE; PARK (1998)
Naftaleno (mg COT/L)	50	YI <i>et al.</i> (1994)
	6,5	ZHANG <i>et al.</i> (1998)
Piridina (mg COT/L)	11	YI <i>et al.</i> (1994)
	2,6-7,7	ZHANG <i>et al.</i> (1998)
Sulfeto (mg S²⁻/L)	≤ 700	BARTON <i>et al.</i> (1978)
	65-78	LI <i>et al.</i> (2005)

(Fonte: AUN, 2007)

3.1.3 Problemas de saúde pública e ambiental associados aos despejos da coqueria

Compostos como fenol, tolueno e benzeno, frequentemente identificados nos despejos de coqueria, também estão presentes nas listas de poluentes orgânicos prioritários em diferentes países, sempre com a preocupação de limitar as emissões dessas substâncias, protegendo a saúde da população e o equilíbrio dos ecossistemas.

O despejo de coquerias apresenta, normalmente, concentrações de fenóis elevadas, por volta de 1000 mg C₆H₅OH/L. Uma grande variedade de estudos epidemiológicos tem avaliado a carcinogenicidade do fenol mas esses estudos não são conclusivos, principalmente quanto à dose relativa associada ao desenvolvimento do câncer em seres humanos. Por outro lado, pesquisas com animais que respiraram ar com concentrações de fenol variando entre 26 a 52 ppm, ao longo de 88 dias de exposição, permitiram a observação de irritação dos pulmões, tremor muscular e perda de coordenação motora. Exposição prolongada (superior a 365 dias) causou paralisia e severas insuficiências cardíaca, hepática, renal e pulmonar, e em alguns casos, a morte (IARC, 2004; EPA, 2005).

Os cianetos possivelmente se constituem nos compostos de maior toxidez encontrados nas águas amoniacais, quando na forma dissociada. Leduc *et al.* (1982) in Aun (2007) observaram toxicidade aguda para diferentes espécies de peixes em concentrações entre 20 e 1000 µg CN/L. Muitas vezes águas residuárias contêm cianetos totais em concentrações até mais elevadas, porém na forma complexada que não apresenta tanta toxicidade.

Quanto aos compostos inorgânicos, merece destaque, a elevada concentração de nitrogênio amoniacal, sempre presente nos despejos de coquerias. O lançamento indiscriminado de nitrogênio amoniacal presente em águas residuárias pode apresentar uma série de impactos ambientais (RANDALL *et al.*,

1995; VAN BENTHUM, 1998; HOWARTH, 2004 *in* QUEIROZ, 2009), a saber:

- Toxicidade à vida aquática, pois a amônia livre (NH_3) impede as trocas gasosas nas guelras dos peixes;
- Consumo do oxigênio do meio aquático no processo de oxidação da amônia (nitrificação);
- Aumento da demanda pelo desinfetante nas Estações de Tratamento de Água que utilizam cloro na desinfecção da água, uma vez que o cloro reage com o íon amônio (NH_4^+), formando cloraminas. Essas são desinfetantes menos eficazes que o ácido hipocloroso;
- Prejudicam o reuso da água, principalmente para fins industriais;
- A poluição por nitrogênio está diretamente relacionada à acidificação dos solos, eutrofização em ecossistemas marinhos próximos à costa e perda da biodiversidade em vários ecossistemas aquáticos e terrestres.

3.1.4 Legislação

Frente aos problemas de saúde pública, poluição ambiental e, ainda, atendimento a legislação vigente, torna-se indispensável o tratamento dos efluentes gerados nas coqueiras antes do seu descarte no meio ambiente. No estado do Espírito Santo o lançamento de despejos em corpos hídricos está subordinado à Resolução de número 357/05 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente).

Os principais limites para lançamento para compostos presentes em despejos de coqueira, em conformidade com a Resolução CONAMA 357/05, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites de lançamento de efluentes segundo a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetro	Padrão de lançamento
Nitrogênio amoniacal total	20 mg N/L
Fenóis totais	0,5 mg C ₆ H ₅ OH/L
Cianeto total	0,2 mg CN ⁻ /L

3.1.5 Tratamento biológico dos efluentes de uma usina siderúrgica

Os efluentes líquidos mais importantes de uma indústria siderúrgica são provenientes das águas de produção do coque, denominados de licor amoniacal, e dos efluentes do alto forno, contendo cianeto, sulfeto, amônia, fenol e outras substâncias tóxicas em concentrações elevadas (PANDEY *et al.*, 1991). A remoção desses poluentes, em geral, requer a associação de tratamento físico-químico e biológico.

Como pré-tratamento, os processos físico-químicos reduzem as concentrações de poluentes recalcitrantes à montante de sistemas biológicos, com o intuito de reduzir a toxicidade dos mesmos aos microorganismos tratadores do efluente. Os processos físico-químicos também podem ser usados como unidade de polimento final do efluente, visando, por exemplo, o seu reuso.

Alguns processos físico-químicos aplicados a despejos de coqueria, segundo Ghose (2004) e Queiroz (2009) são:

- *stripping* da amônia e compostos orgânicos voláteis,
- adsorção de compostos orgânicos da fase aquosa com solvente,
- aplicação de resinas de troca iônica para remoção de fluoreto e selênio.

- coagulação e oxidação química de compostos orgânicos com aplicação de ozônio e íon ferro com valência zero.

O tratamento biológico por lodos ativados é atualmente o mais utilizado para a depuração de efluentes sanitários e industriais caracterizados por contaminação de carga orgânica e produtos nitrogenados, representando um sistema de tratamento com alta taxa de eficiência (remoção de DBO/DQO). Além disso, de acordo com Ferreira *et al.* (2008), na indústria, o efluente tratado por este processo pode ser reutilizado como água industrial, credenciando o sistema de tratamento por lodo ativado a ter uma relação custo-benefício muito favorável.

Embora alguns trabalhos atestem baixa eficiência na remoção de DQO e problemas de inibição da nitrificação, a exemplo de Aun (2007); Kim *et al.* (2008) e Vásquez *et al.* (2006), o sistema de lodos ativados é o processo mais indicado na literatura devido à elevada eficiência na remoção dos contaminantes. O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio (BENTO *et al.*, 2005). Estritamente biológico e aeróbio, o processo de lodos ativados consiste em misturar intimamente o esgoto bruto afluente e o lodo ativado que, em seguida, são agitados e aerados (em unidades denominadas tanques de aeração). Após este procedimento, o lodo formado é enviado para o decantador secundário, onde a parte sólida é separada do esgoto tratado, sendo este último descartado. O lodo decantado retorna ao tanque de aeração ou é retirado para tratamento específico (VILANOVA *et al.*, 2005).

Portanto, o sistema de lodos ativados é um processo que evita a fuga descontrolada de bactérias ativas (lodos ativados) produzidas no sistema através da recirculação do lodo (CAMPOS, 1994 *in* MENDONÇA, 2002), objetivando manter a maior concentração possível de microrganismos ativos dentro do reator. Estes microrganismos formam flocos que podem ser removidos por sedimentação em decantador secundário ou em flotor por ar dissolvido (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999

in TORRES, 2005). A Figura 3 apresenta a estrutura dos flocos biológicos.



Figura 3 – Flocos biológicos formados por bactérias formadoras de flocos.

(Fonte: GIACOMIN, 2004)

3.2 Microbiologia de lodos ativados

O sistema de lodos ativados consiste em uma complexa associação de microrganismos composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes (BENTO *et al.*, 2005). Segundo Amman *et al.* (1997) in Oliveira *et al.* (2009), a comunidade estabelecida nesse sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, sendo que cada espécie tem sua importância para o bom funcionamento do sistema. A estrutura dessa comunidade apresenta forte relação com as condições operacionais e com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo (VAZOLLÉR *et al.*, 1989), de modo que a avaliação microbiológica do lodo é capaz de fornecer informações sobre o desempenho da ETE (POOLE, 1984).

A Figura 4 mostra algumas formas ecológicas de microrganismos encontrados com frequência em sistemas de lodos ativados.

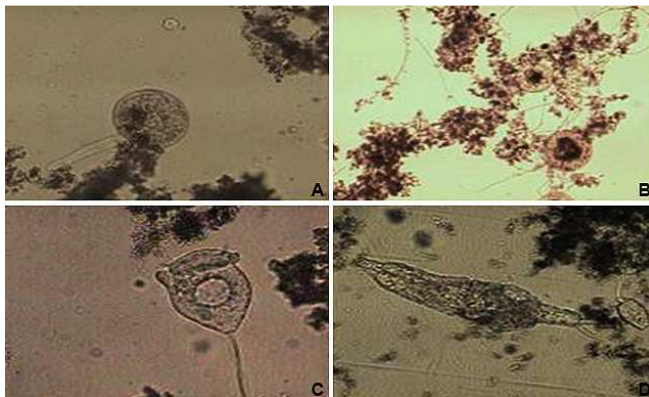


Figura 4 – Microrganismos freqüentemente encontrados em sistemas de lodos ativados.

A) Arcella B) Bactérias filamentosas C) Rotíferos Pedunculares D) Rotíferos (Fonte: AMT, 2009).

3.2.1 Bactérias

Constituem o grupo de microrganismos de maior presença e importância nos sistemas de lodos ativados, uma vez que é responsável pela decomposição da matéria orgânica presente no efluente (BRAILE & CAVALCANTI, 1993), além de possuir a propriedade de se aglomerar em unidades estruturais: os flocos (VON SPERLING, 1996), fator este que possibilita a sedimentação do lodo na unidade de decantação.

As bactérias são organismos unicelulares procariotas (ausência de núcleo definido), podendo apresentar-se isoladamente ou em agregados, formando colônias de aspecto característico, como filamentosas, em formas de cachos de uva e

outros. Metcalf & Eddy (1991) afirmam que a maioria desses organismos não tolera pH acima de 9,5 ou abaixo de 4,0; sendo a faixa de pH ótimo entre 6,5 e 7,5 para o crescimento bacteriano. A Tabela 4 apresenta os gêneros de bactérias comumente encontrados em lodos ativados.

Tabela 4 – Gêneros de bactérias comumente encontrados em lodos ativados.

Principais gêneros	Outros gêneros
<i>Zooglea</i>	<i>Aeromonas</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Aerobacter</i>
<i>Comomonas</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Spirillum</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Acinobacter</i>
<i>Brevibacterium</i>	<i>Gluconobacter</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Cytophaga</i>
<i>Achromobacter</i>	<i>Hyphomicrobium</i>
<i>Corynebacterium</i>	
<i>Sphaerotillus</i>	
<i>Arthobacter</i>	
<i>Citromonas</i>	
<i>Chromobacterium</i>	
<i>Flexibacter</i>	

(Fonte: LESTER & BIRKETT, 1999)

Cada gênero de bactéria exerce uma função dentro do sistema, conforme relacionado na Tabela 5.

Tabela 5 – Reações promovidas pelos principais gêneros de bactérias encontradas em lodos ativados.

Gêneros	Funções
<i>Pseudomonas</i>	Remoção de substrato, produção de muco, desnitrificação
<i>Zooglea</i>	Produção de muco, formação do floco
<i>Bacillus</i>	Degradação de proteínas
<i>Athrobacter</i>	Degradação de carboidratos
<i>Microthrix</i>	Degradação de gordura, crescimento filamentoso
<i>Nocardia</i>	Crescimento filamentoso, formação de espuma e escuma
<i>Acinetobacter</i>	Remoção de fósforo
<i>Nitrosomonas</i>	Nitrificação
<i>Nitrobacter</i>	Nitrificação
<i>Achromobacter</i>	Desnitrificação

(Fonte: HORAN, 1990 *in* TORRES, 2005).

É interessante mencionar que, de acordo com Mendonça (2002), em sistemas de lodos ativados, quando organismos filamentosos dominam a competição entre as espécies, é formada uma microestrutura filamentosa, reduzindo a sedimentabilidade dos flocos. Este fenômeno é conhecido como intumescimento ou *bulking* do lodo, um problema complexo que atinge de 20 a 40% das estações de tratamento (PUJOL & CANLER, 1992). Os microorganismos filamentosos também são responsáveis pela

formação de espuma em sistemas biológicos, a exemplo da *Nocardia spp*, apresentada anteriormente na Tabela 5.

Madoni *et al.* (2000) estudaram os principais efeitos de *bulking* e formação de espuma em estações de tratamento de esgoto italianas, quais sejam:

- Deterioração na qualidade do efluente, devido a perda de lodo;
- Dificuldade de recirculação do lodo por causa do aumento do seu volume;
- Dificuldade de manter adequada concentração de lodo no tanque de aeração.

Indesejável ao bom desempenho do sistema, o aparecimento de filamentos no reator pode ocorrer, segundo Jenkins *et al.* (1993), devido à escassez de nutrientes, baixa concentração de oxigênio dissolvido, baixa carga orgânica, elevada concentração de compostos de baixo peso molecular, presença de compostos reduzidos de enxofre, etc.

3.2.2 Protozoários

O grupo dos protozoários compreende organismos unicelulares, eucariotas constituídos de uma pequena massa de protoplasma. A parede celular encontra-se freqüentemente ausente. Embora não apresentem diferenciação celular, alguns possuem uma estrutura relativamente complexa, com algumas regiões diferenciadas na célula para a execução de diversas funções. A maioria é representada por organismos heterotróficos, aeróbios estritos (VON SPERLING, 1996). Geralmente são maiores que as bactérias e demonstram uma grande diversidade de formas e modos de vida. Muitos são de vida livre, enquanto outros são sésseis, sendo alguns destes formadores de colônias (HORAN, 1990).

Centenas de espécies de protozoários podem estar presentes em lodos ativados. Em função de algumas características estruturais, e principalmente do mecanismo de locomoção, os protozoários podem ser divididos em vários grupos, sendo os de maior interesse: amebas, flagelados e ciliados (BRANCO, 1976; LA RIVIÉRI, 1980).

O papel primário dos protozoários em lodos ativados é clarificar o efluente, reduzindo sua turbidez através da predação de outros organismos, principalmente bactérias, além de matéria orgânica particulada, atuando no polimento dos efluentes dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias (METCALF & EDDY, 1991).

Torres (2005), embasado pelo trabalho de Berk & Gunderson (1993), afirma que os protozoários desempenham outra importante função num reator biológico, ao capturar bactérias pela predação: removem bactérias senescentes e mantêm a população destas num estado fisiológico jovem, possibilitando uma taxa de assimilação de matéria orgânica maior pelas bactérias. De certa forma, então, eles contribuem na seleção das espécies bacterianas formadoras de flocos.

É possível, ainda, que os protozoários contribuam com a integridade e formação dos flocos através da secreção de uma proteína mucosa de material polissacarídeo que pode ter a mesma função do polímero extracelular produzido por bactérias (LESTER & BIRKETT, 1999).

As principais atuações dos protozoários no tratamento de esgotos, mencionadas anteriormente, quais sejam: consumo de matéria orgânica e consumo de bactérias livres, dependem do modo de alimentação do protozoário, o qual varia com o seu tipo (HORAN, 1990 *in* VON SPERLING, 1996), a saber:

- Protozoários flagelados: utilização de matéria orgânica solúvel por difusão ou transporte ativo. Neste modo de alimentação, as bactérias são mais eficientes na competição.
- Amebas e protozoários ciliados: formação de um vacúolo em torno da partícula sólida (que pode incluir bactérias)

através de um processo denominado fagocitose. A fração orgânica da partícula é então utilizada após atuação enzimática dentro do vacúolo (dentro da célula).

- Protozoários ciliados (principalmente): predação de bactérias, algas e outros protozoários ciliados e flagelados.

Convém mencionar que os microrganismos protozoários presentes em ETEs pertencem a dois filós: o Ciliophora, onde os representantes possuem cílios para movimentação e alimentação, e Sarcomastigophora que subdivide-se em Mastigophora, que tem como representantes os flagelados, e Sarcodina, representado pelas amebas e tecamebas. A Figura 5 mostra um representante de cada filo.



Figura 5 – Protozoários presentes em Estações de Tratamento de Efluentes.

A) Protozoário Ciliophora da espécie *Euplotes* sp. B) Protozoário Mastigophora da espécie *Paranema* sp. C) Protozoário Sarcodina da espécie *Arcella* sp. (Fonte: GIACOMIN, 2004).

Os grupos de protozoários desenvolvem-se no processo de lodos ativados de acordo com as características do meio, que variam conforme as características operacionais da estação de tratamento. Assim, a caracterização da comunidade de protozoários presentes no tanque de aeração é uma ferramenta útil para o monitoramento do tratamento biológico, uma vez que a estrutura da comunidade de protozoários reflete a qualidade do efluente (NICOLAU *et al.*, 2001).

A Tabela 6 apresenta as relações existentes entre os protozoários dominantes na microfauna, o desempenho do sistema de lodos ativados e as possíveis características operacionais que favorecem o crescimento desses organismos.

3.2.3 Metazoários

Em contraste com as bactérias e os protozoários, os metazoários (rotíferos, nematóides e anelídeos) são organismos pluricelulares. O tipo de sua reprodução depende das condições do ambiente em que estão presentes, podendo ser sexuada, assexuada ou alternando (WEF, 1990).

Os metazoários mais freqüentes no processo de lodos ativados são os rotíferos, que são organismos aeróbios, heterótrofos e multicelulares. São muito eficientes no consumo de bactérias dispersas ou aderidas a flocos e de pequenas partículas de matéria orgânica. Sua presença no efluente final indica processo aeróbio de purificação muito eficiente (METCALF & EDDY, 1991).

Os nematóides são vermes alongados, aeróbios, heterótrofos, multicelulares, não apresentam segmentação ao longo do corpo e geralmente possuem reprodução sexuada (BRANCO, 1986). Segundo Eikelboon (2000), ainda não se sabe se esses metazoários podem ser utilizados como indicadores das condições do processo e são regularmente encontrados em sistemas de lodos ativados com baixa carga orgânica.

Os anelídeos são vermes alongados, aeróbios, multicelulares e de reprodução geralmente sexuada. Podem ser observados segmentos ou anéis articulados em toda sua extensão. São metazoários menos freqüentes em lodos ativados (BRANCO, 1986).

Tabela 6 – Relação entre o desempenho do sistema e a presença de grupos dominantes de protozoários dominantes na microfauna.

Grupo dominante	Desempenho	Possíveis causas
Pequenos flagelados	Fraco	Deficiência de aeração, choques devido à sobrecarga e presença de subprodutos da fermentação
Pequenos ciliados livres nadantes	Médio	Deficiência de aeração, baixo tempo de detenção hidráulico
Grandes ciliados livres nadantes	Médio	Choques devido à sobrecarga e deficiência de aeração
Ciliados livres predadores de flocos	Bom	-
Ciliados pedunculados e livres predadores de flocos	Bom	-
Ciliados pedunculados	Decaindo	Alimentação irregular e perda de lodo recente
Pequenas amebas	Muito fraco	Alta carga de compostos de difícil degradação
Arcella (ameba)	Bom	-

(Fonte: MADONI, 1994)

3.2.4 Fungos

Os fungos não são habitantes frequentes em lodos ativados. Seu desenvolvimento pode ser estimulado quando prevalecem determinadas condições nos reatores biológicos, tais como: pH baixo, presença de grande quantidade de carboidratos e deficiência de nutrientes. Os fungos são tão eficazes quanto as bactérias na estabilização da matéria orgânica, mas, por serem filamentosos, podem levar o sistema ao *bulking* quando presentes em grande número. Dentre os gêneros que podem aparecer em lodos ativados podemos citar: *Geotrichum*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Cladosporium* (MELCHIOR *et al.*, 2002).

3.3 Monitoramento microbiológico da ETE

O monitoramento da microfauna da ETE pode ser usado como instrumento de avaliação e controle do processo de tratamento. Sabemos que a eficiência deste depende, dentre outros fatores, da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados. Bento *et al.* (2005) afirmam que os flocos biológicos constituem um micro-sistema complexo formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários. As bactérias são as principais responsáveis pela depuração da matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos. Entretanto, os componentes da microfauna (protozoários e micrometazoários) também têm importante papel na manutenção de uma comunidade bacteriana equilibrada, na remoção dos contaminantes, na redução da DBO e na floculação.

Os fungos e as algas de forma filamentosa são elementos indesejáveis ao tratamento, pois dificultam a formação do floco (FERREIRA *et al.*, 2008). Por serem extremamente sensíveis às alterações no processo, os componentes da microfauna alternam-se no sistema em resposta às mudanças nas condições físico-químicas e ambientais. Desse modo, a composição da microfauna do lodo ativado revela tendências do processo, quanto a eficiência da remoção da demanda bioquímica de oxigênio; a eficiência da remoção de sólidos suspensos; as condições de sedimentação do

lodo; o nível de aeração empregado no sistema; a presença de compostos tóxicos, tais como metais pesados e amônia; além de poder indicar a ocorrência de sobrecargas orgânicas e de nitrificação (GERARDI, 1986; HOFFMANN & PLATZER, 2000).

Neste ecossistema vivo artificial, cada microrganismo tem uma taxa de crescimento própria, dependendo de fatores bióticos e abióticos mais ou menos controláveis, referidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Fatores bióticos e abióticos que afetam a taxa de crescimento dos microrganismos presentes na biocenose dos lodos ativados.

Fatores bióticos	Fatores abióticos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predação, comensalismo, competição ▪ Velocidade de absorção do substrato ▪ Resistência a condições adversas ▪ Necessidade de oxigenação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Natureza e composição da água residual ▪ Fatores ambientais (pH, temperatura) ▪ Carga orgânica/disponibilidade substrato ▪ Idade do lodo ▪ Arejamento ▪ Tempo de retenção celular ▪ Configuração do sistema ▪ Padrão de alimentação

(Fonte: FERREIRA *et al.*, 2008)

Hoffmann e Platzer (2000) afirmam que o diagnóstico obtido pela microscopia do lodo ativado pode ser utilizado para alterar as características operacionais do sistema, tais como a idade do lodo e a concentração de oxigênio dissolvido no reator, com o intuito de melhorar a eficiência do tratamento.

Um bom desempenho do sistema está diretamente relacionado às espécies dominantes no processo, conforme apresentado na Tabela 8. Segundo Bento *et al.* (2005), no Brasil, a maioria dos sistemas de tratamento de esgotos é monitorada e controlada pelas análises físico-químicas. A observação microscópica ainda é um instrumento raro, geralmente realizada em curtos períodos de tempo e seus resultados são, na grande maioria, subutilizados.

Tabela 8 – Microorganismos indicadores das condições de depuração.

Microorganismos	Características do processo
Predominância de flagelados e amebas	Lodo jovem, característica de início de operação ou baixa idade do lodo.
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica.
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração.
Predominância de <i>Arcella</i> (ameba com teca)	Boa depuração.
Predominância de <i>Aspidisca costata</i>	Nitrificação.
Predominância de <i>Trachelophyllum</i>	Alta idade do lodo.

Microorganismos	Características do processo
Predominância de <i>Vorticella microstoma</i> (ciliado pedunculado) e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade.
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aelosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido.
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo.

(Fonte: FIGUEIREDO *et al.*, 1997)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

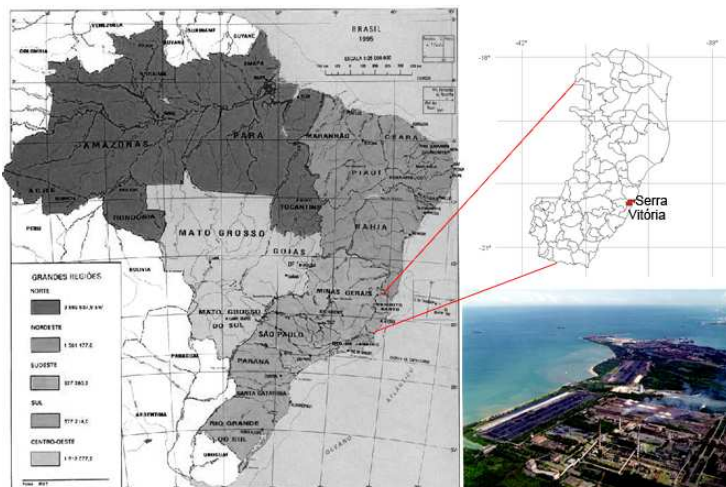


Figura 6 – Mapa do Brasil com a localização da área de estudo.

O presente estudo foi realizado na Coqueria da Arcelor Mittal Tubarão, uma das principais fornecedoras mundiais de placas de aço (5 milhões de toneladas/ano), localizada no município da Serra, indicado no mapa da Figura 6, 14 Km ao norte de Vitória, Espírito Santo. Para o tratamento da complexa água residuária gerada na Coqueria, a Arcelor Mittal Tubarão possui uma Estação de Tratamento Biológico (ETB) operando em sistema de lodos ativados, antecedido por tratamento físico-químico, conforme podemos visualizar através da Figura 7.



Figura 7 – Visão geral da Estação de Tratamento Biológico da Arcelor Mittal Tubarão.

As unidades de tratamento indicados na figura são descritas a seguir e correspondem a:

1. Stripping da amônia
2. Tanques de equalização
3. Clarificador primário
4. Tanque de passagem
5. Reator biológico
6. Clarificador secundário
7. Adensador de lodo

4.2 Caracterização do sistema de tratamento de efluentes

O processo de tratamento, cujas unidades estão apresentadas no fluxograma da Figura 8, consiste, resumidamente, das seguintes etapas:

- Pré-tratamento do efluente, através da remoção físico-química de amônia e cianeto pela coluna “*stripping soda*”.
- Homogeneização do efluente em tanques de equalização (TQ-01 e TQ-02).
- Dosagem, em clarificador primário (CL-01), de sulfato ferroso para a complexação do cianeto, cal para ajuste de pH e polímero para melhorar a qualidade dos flocos. Nesta etapa há a remoção de ferrocianeto ferroso e férrico. O lodo gerado nesta etapa é desidratado e recirculado.
- O efluente clarificado segue para nova equalização (TK-01) e, posteriormente, segue para o reator biológico (TK-02), onde ocorre a remoção de fenóis e nitrificação da amônia por sistema de lodos ativados (aeração prolongada e fluxo contínuo). A redução de cianeto se dá por adsorção à biomassa, diluição, volatilização, oxidação pelo ar e fotodecomposição.
- A etapa final é a clarificação secundária (CL-02), onde ocorre nova decantação do lodo. Parte deste lodo retorna ao processo e o sobrenadante é conduzido para o mar através do emissário submarino.

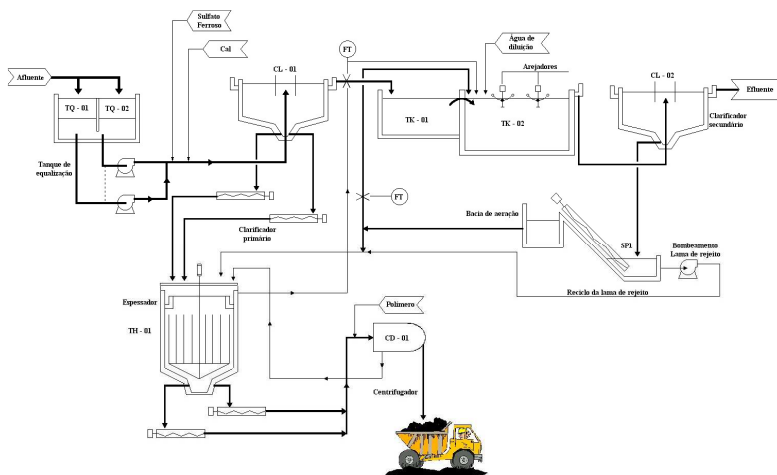


Figura 8 – Fluxograma da Estação de Tratamento Biológico da Arcelor Mittal Tubarão.

(Fonte: MACHADO, 2002)

4.3 Caracterização físico-química do efluente

4.3.1 Amostragem

O período de amostragem compreendeu os meses de junho de 2008 a outubro de 2009. As amostras do licor amoniacal – nome dado ao efluente gerado na Coqueria – foram coletadas na entrada do efluente na planta, em frascos de polietileno com tampa, identificados, e com capacidade para 1 litro, sendo imediatamente encaminhadas para análise. As amostras do lodo biológico foram coletadas diretamente do TK-02. A Figura 9 apresenta os pontos de amostragem aqui mencionados.



Figura 9 – Ponto de coleta das amostras de licor bruto e lodo biológico (TK-02).

Também foram coletadas amostras do efluente final, na saída do decantador secundário (CL-02). A Figura 10 mostra, respectivamente, amostras de licor e de lodo biológico utilizadas nas análises.



Figura 10 – Amostras de licor amoniacal e de lodo biológico.

As coletas foram realizadas com frequência semanal. As amostragens do lodo eram feitas nos dias de quarta-feira e, o licor amoniacal, era coletado na sexta-feira.

4.3.2 Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos do efluente bruto (licor) e do lodo (TK-02) foram avaliados semanalmente no laboratório da ETB, também certificado pela ISO 17025. As variáveis determinadas no presente estudo, bem como o método de análise utilizado para cada uma delas, estão relacionadas na Tabela 9.

Cabe destacar que as análises de DQO, DBO, cianeto total e fenóis totais do efluente final (CL-02) foram realizadas para posterior cálculo da redução desses parâmetros em relação ao licor amoniacal.

Tabela 9 – Parâmetros físico-químicos avaliados.

Parâmetro	Procedência	Método de análise
Sólidos suspensos totais (SST)	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Sólidos sedimentáveis (SSD)	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Demanda química de oxigênio (DQO)	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
pH	Licor	Sensor Mettler Toledo
Nitrogênio amoniacal	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Sulfeto total	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Cianeto total	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Chumbo total	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Óleos e graxas	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Manganês solúvel	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Zinco total	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Fenóis totais	Licor	APHA/AWWA/WEF, 2005
Sólidos suspensos totais (SST)	TK-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Sólidos sedimentáveis (SSD)	TK-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Nitrogênio nitrito	TK-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Nitrogênio nitrato	TK-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Temperatura	TK-02	Sensor Mettler Toledo

Parâmetro	Procedência	Método de análise
Oxigênio dissolvido (OD)	TK-02	Sensor Mettler Toledo
pH	TK-02	Sensor Mettler Toledo
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)	CL-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Demanda química de oxigênio (DQO)	CL-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Sólidos suspensos totais (SST)	CL-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Cianeto total	CL-02	APHA/AWWA/WEF, 2005
Fenóis totais	CL-02	APHA/AWWA/WEF, 2005

4.4 Caracterização microbiológica

Buscou-se, na avaliação biológica da comunidade do lodo, identificar os ciliados de vida livre, ciliados livres nadantes (andarilhos), suctórias, flagelados, amebas, nematóides e rotíferos. A identificação dos organismos foi realizada pela APLYSIA, empresa com certificação ISO 17025 de Qualidade em Laboratórios, contratada pela Arcelor Mittal Tubarão.

Para caracterização do lodo biológico usou-se amostras frescas, coradas por solução Gram e Neisser com o uso do microscópio óptico Leica DMLS com contraste de fase, através das objetivas de 10, 40 e 100 vezes e oculares de 10 a 16 vezes de aumento, seguindo a proposta de Jenkins et al. (2003), descrita através da Tabela 10.

Tabela 10 – Características observadas para classificação dos flocos.

Parâmetro observado	Características
Tamanho do floco	Pequeno, médio, grande
Morfologia do floco	Redondo, irregular, compacto, difuso
Protozoários e outros organismos	Presença e tipo de organismo
Colônias de bactérias	Presença de colônias de zooglea e outras bactérias
Abundância de filamentos	Nada, poucas, algumas, comuns, muito comuns, abundantes e excessivas

Fonte: Adaptado de Jenkins *et al.* (2003) e Lima *et al.* (2004)

A identificação foi realizada por método comparativo com as morfologias típicas dos microrganismos do banco de dados da bibliografia, particularmente, Jenkins *et al.* (1993), CETESB (1989) e IWA Publishing (2008). A cada análise, os grupos foram classificados em ausentes, raros, freqüentes e abundantes, atribuindo um valor arbitrário à freqüência dos organismos encontrados, a saber:

- Ausente: 0 (não observados)
- Raro: 1 (1 a 15 organismos)
- Freqüente: 2 (16 a 30 organismos)
- Abundante: 3 (acima de 30 organismos)

As imagens microscópicas foram registradas através de máquina digital NIKON e o tratamento das mesmas foi realizado no programa LEICA. A partir da organização dos dados dos relatórios de monitoramento microbiológico (apêndice A) espera-se relacionar a presença de organismos de determinados grupos taxonômicos com o funcionamento da ETE.

4.5 Correlação da microbiota com os parâmetros físico-químicos

As correlações entre as variáveis biológicas e as físico-químicas, foram verificadas pelo método de correlação não-paramétrica de Spearman, conforme sugerem OLIVEIRA *et al.* (2009) e ZAR (1996), utilizando o programa GraphPad InStat.

O coeficiente de correlação é denotado por r e tem as seguintes propriedades:

- r varia entre -1 e +1;
- $r = 0$ corresponde a não-associação;
- quanto maior o valor de r , mais forte a associação;
- $r > 0$ corresponde a ambas variáveis crescendo juntas;
- $r < 0$ corresponde a uma variável ficando menor e a outra fica maior.

O método de Spearman usa somente os postos e não faz quaisquer suposições. Essencialmente tudo o que faz é calcular o coeficiente de correlação de Pearson nos postos, conforme especificado na seguinte equação:

$$r = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{(n^3 - n)}$$

Em que:

- n é o número de pares (x_i, y_i)
- $d_i = (\text{posto de } x_i \text{ dentre os valores de } x) - (\text{posto de } y_i \text{ nos valores de } y)$

Note que se os postos de x são exatamente iguais aos postos de y , então todos os d_i serão zero e r será 1. As correlações (positivas, indicando relação direta, e negativas, quando inversamente relacionadas) foram consideradas significativas com nível de significância (p) menor que 0,05.

Cabe mencionar que avaliações das correlações foi feita sobre aspectos qualitativos e quantitativos, considerando o número de indivíduos em uma gota de efluente analisada (0,04g).

4.6 Identificação de bioindicadores

Com o intuito de identificar algum grupo de microrganismo que pudesse ser usado como bioindicador da qualidade do efluente tratado verificou-se, utilizando ainda o método de correlação não-paramétrica de Spearman, a existência de possíveis correlações entre a qualidade do efluente final e os organismos presentes no processo de tratamento. Novamente, as correlações foram consideradas significativas com $p < 0,05$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química do efluente

Ao longo da presente investigação, com base nos resultados das análises físico-químicas (apêndice B), foi possível caracterizar o licor amoniacal produzido na Coqueria da Arcelor Mittal Tubarão, conforme descrito na Tabela 11.

Tabela 11 – Caracterização do efluente bruto (licor amoniacal) gerado na Coqueria da Arcelor Mittal Tubarão.

Parâmetro	Número de dados	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio ± desvio padrão
pH	69	6,7	9,0	7,16 ± 0,36
Sulfeto total (mg S ²⁻ /L)	69	1,23	16,40	5,21 ± 3,01
Nitrogênio amoniacal (mg N/L)	69	75,60	254,00	128,67 ± 25,22
Cianeto total (mg CN/L)	69	1,56	6,97	2,93 ± 1,27
DBO (mg O ₂ /L)	68	459	1298	847,40 ± 193,10
Zinco total (mg Zn/L)	38	0,01	0,27	0,12 ± 0,07
DQO (mg O ₂ /L)	69	811	3535	2373,41 ± 428,76

Parâmetro	Número de dados	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio \pm desvio padrão
Chumbo total (mg Pb/L)	38	0,01	0,05	$0,01 \pm 0,01$
Óleos e graxas (mg/L)	66	< 4,35	15,20	$5,81 \pm 2,55$
Fenóis totais (mg C ₆ H ₅ OH/L)	68	215	542	$376,52 \pm 79,32$
Sólidos sedimentáveis (mg SS/L)	69	< 0,1	0,2	$0,1 \pm 0,02$
Sólidos suspensos totais (mg/L)	69	24,50	184,00	$63,76 \pm 26,49$

Há de se considerar, primeiramente, que os valores de nitrogênio amoniacal são inferiores às concentrações características desse parâmetro existentes em efluentes de coqueria. Isto acontece porque o ponto de coleta do licor amoniacal fica a jusante da coluna de *stripping* da amônia, o que explica a redução nas concentrações desse composto.

A concentração média de fenóis totais ($376,52 \pm 79,32$ mg C₆H₅OH/L), cuja variação ao longo do tempo está representada através do gráfico da Figura 11, também situa-se abaixo dos valores usualmente encontrados em efluentes de coqueria, que podem chegar a 5000 mg C₆H₅OH/L, segundo Kindzierski et al. (1991). Concentrações mais baixas de fenol se originam nos processos de recuperação de subprodutos da coqueria. Queiroz (2009) comenta que este fato pode ser preocupante no que

concerne à disponibilidade de carbono para os processos de nitrificação e desnitrificação. No entanto, verificou-se que a quantidade de matéria orgânica, avaliada como DBO e DQO, esteve adequada ao processo durante o período de avaliação, conforme mostram as Figuras 12 e 13.

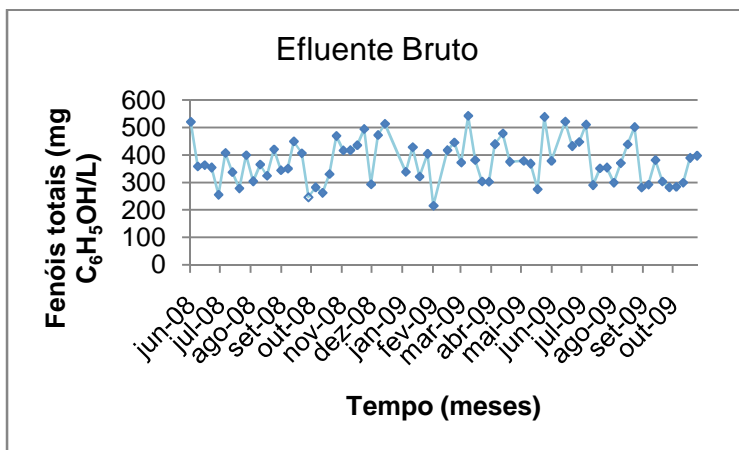


Figura 11 – Concentrações de fenóis totais presentes no efluente durante o período de avaliação.

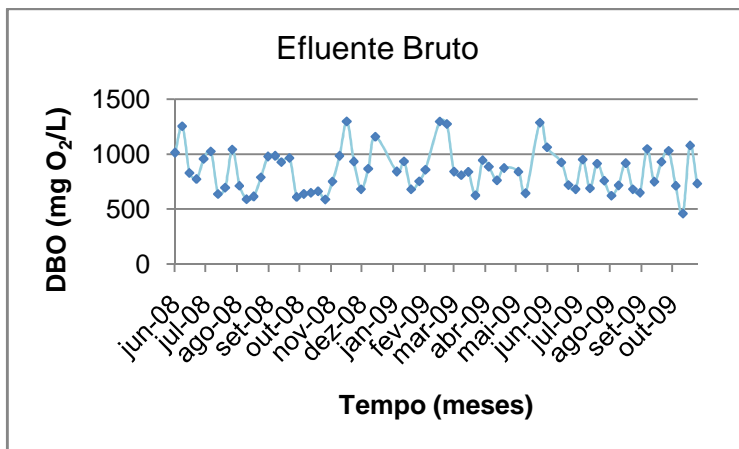


Figura 12 – Concentrações de DBO presentes no efluente durante o período de avaliação.

Os valores médios de DBO e DQO resultam numa relação DQO/DBO igual a 2,8. Número este que, segundo Braile e Cavalcanti (1993), nos permite assumir que o efluente possui uma importante fração biodegradável, sendo compatível com o tratamento biológico. No entanto, águas residuárias de coqueria não apresentam concentrações significativas de fósforo e outros nutrientes essenciais ao desenvolvimento e manutenção da atividade biológica (PRAKASAM *et al.*, 1972; SUIDAN *et al.*, 1988). Portanto, a dosagem de nutrientes no reator biológico é de fundamental importância para manutenção dos microrganismos no sistema.

O licor bruto apresentou concentrações importantes de cianeto (Figura 14), que podem ser tóxicas aos microrganismos tratadores do efluente e, assim, devem ser monitorados para preservar a estabilidade do sistema (GIACOMIN, 2004). Boa parte dessa concentração deve ser removida em processo físico-químico anterior ao reator biológico (TK-02), como é o caso da remoção química de cianeto que ocorre no clarificador primário (CL-01) da ETB.

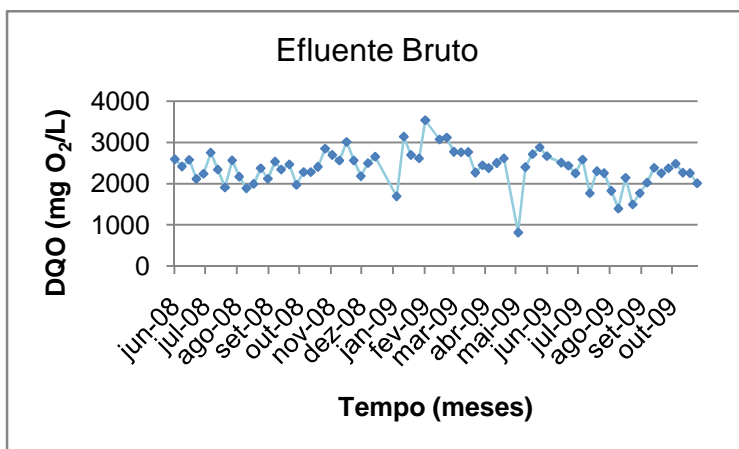


Figura 13 – Concentrações de DQO presentes no efluente durante o período de avaliação.

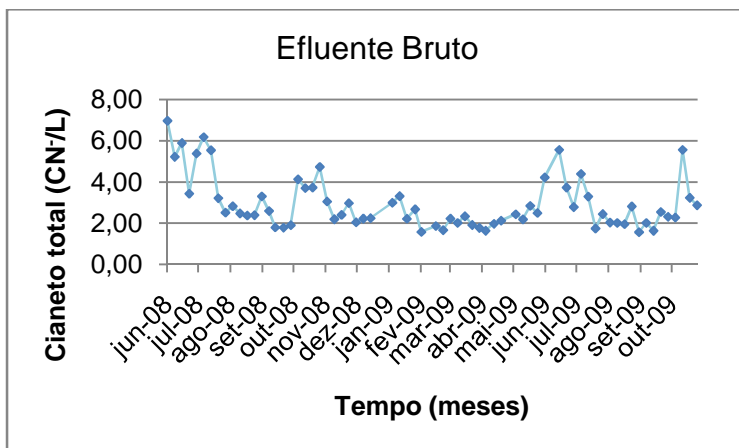


Figura 14 – Concentrações de cianeto total presentes no efluente durante o período de avaliação.

Em geral, o sistema de lodos ativados deve operar numa faixa de pH entre 6,5 a 8,5 (VON SPERLING, 1997). Durante todo o período estudado, os valores de pH variaram entre 6,7 e 9,0 (

Figura 15), mantendo-se próximo da neutralidade na maior parte do tempo decorrido.

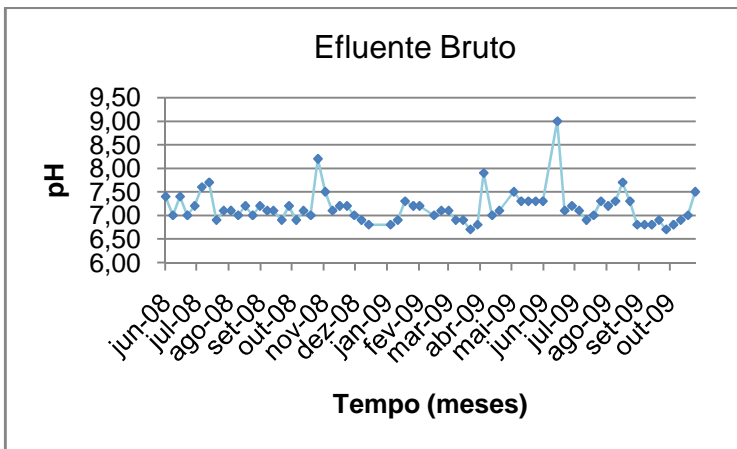


Figura 15 – Valores de pH do efluente durante o período de avaliação.

Através dos gráficos apresentados, percebe-se que os parâmetros do efluente bruto (licor) sofreram constantes variações ao longo do tempo de estudo. Tais flutuações são comuns de acontecer em plantas industriais e são decorrentes de variação no processo produtivo. No caso da coqueria, conforme informação proveniente da Arcelor Mittal Tubarão, um dos fatores que mais agregam oscilação de parâmetros no licor amoniacal é o próprio carvão utilizado para obtenção do coque, substituído a cada três dias nas baterias de produção, com composição bem variada a cada substituição.

5.2 Caracterização microbiológica do lodo

5.2.1 Diversidade de microrganismos

A análise microbiológica do lodo, cujos resultados estão apresentados no apêndice A, revelou a presença de protozoários, metazoários, bactérias nitrificantes e, em alguns momentos, de bactérias filamentosas no lodo gerado na ETB. As bactérias nitrificantes, na maior parte do tempo, estiveram presentes em quantidade adequada para assegurar bons níveis de nitrificação dentro do reator. Através da Figura 16 podemos visualizar uma colônia de nitrobactérias encontrada no lodo da ETB.

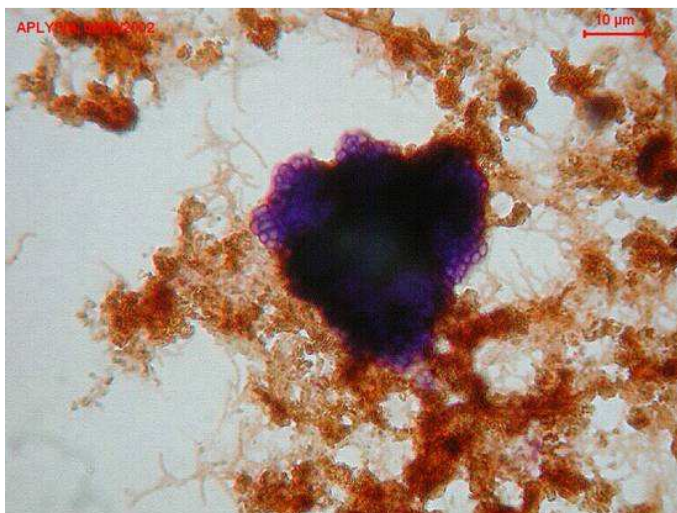


Figura 16 – Colônia de nitrobactérias (bactérias nitrificantes).

O gráfico da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a densidade das bactérias nitrificantes, enquanto a Figura 18 demonstra o número de colônias pequenas, médias e

grandes encontradas no TK-02 da ETB da Arcelor Mittal Tubarão.

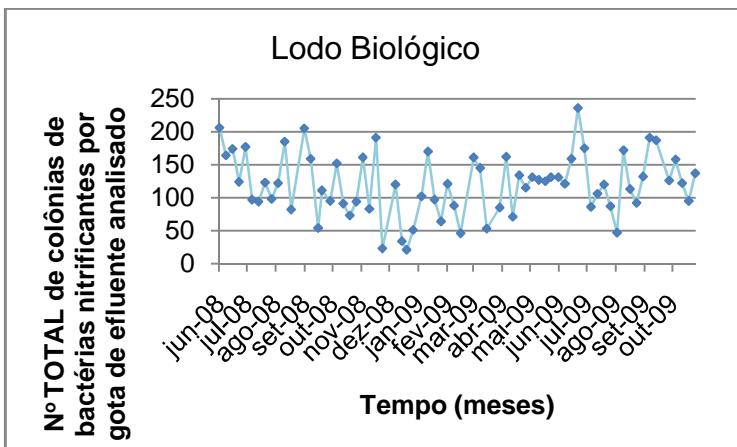


Figura 17 – Variação do número total de colônias de bactérias nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04g) no decorrer do período amostral.

Entre novembro a dezembro de 2008 percebeu-se uma considerável queda no número de colônias das bactérias nitrificantes, fator que provavelmente esteve associado a desvios nas condições físico-químicas necessárias ao crescimento destas bactérias. Descarta-se, aqui, a possibilidade da entrada de uma carga tóxica no sistema, uma vez que a microbiota apresentou resultados relativamente positivos no mesmo período. Observaram-se as mesmas condições na primeira semana de agosto de 2009. Resguardados estes desvios, segundo APLYSIA (2003) as nitrificantes da ETB estão presentes em quantidades consideradas adequadas para a ocorrência da nitrificação.

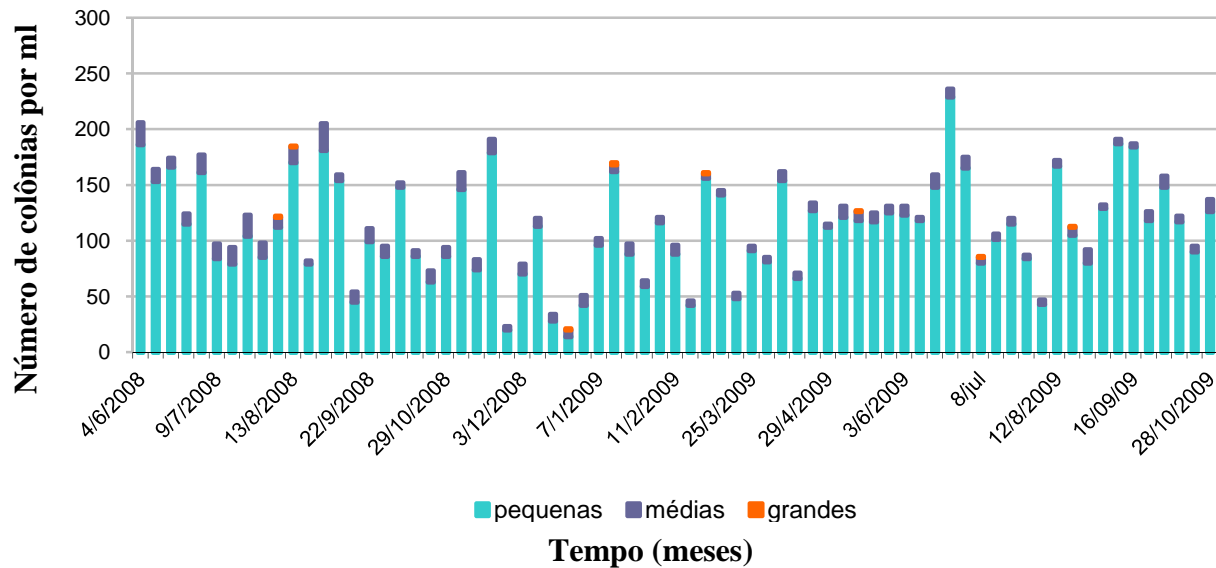


Figura 18 – Variação do número de colônias de bactérias nitrificantes (pequenas, médias e grandes) no decorrer do período amostral.

- Colônias pequenas: 0 a 100 μm^2
- Colônias médias: 100 a 300 μm^2
- Colônias grandes: acima de 300 μm^2

Através da Tabela 12 podemos visualizar os protozoários e metazoários, microorganismos considerados bons indicadores do tratamento, mais freqüentemente encontrados na avaliação microbiológica do lodo, com destaque para os rotíferos e ciliados andarilhos (livres nadantes).

Tabela 12 – Densidade dos protozoários e metazoários encontrados no lodo ativado (organismos/gota).

Grupo	Número de dados	Densidade mínima	Densidade máxima	Densidade média \pm desvio
Tecamebas	17	1	3	1 \pm 1
Rotíferos	65*	1	3	2 \pm 1
Ciliados carnívoros	25	1	4	1 \pm 1
Ciliados andarilhos	65*	1	4	1 \pm 1
Suctórias	18	1	2	1 \pm 0
Outros	66	5	15	10 \pm 2

*Maior freqüência de observação

A Tempo (meses)

Figura 19 mostra a densidade parcial destes microrganismos no decorrer do tempo.

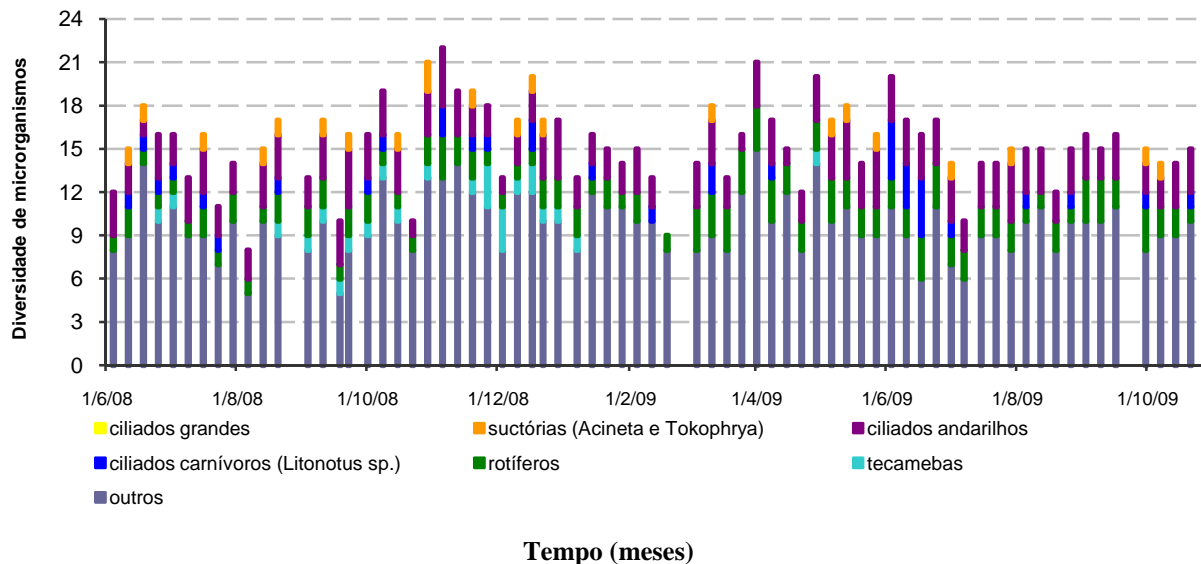


Figura 19 – Densidade parcial dos microrganismos indicadores encontrados no lodo.

A presença de micrometazoários e tecamebas indica alto tempo de detenção celular no processo, ou seja, idade do lodo elevada (JEKINS *et al.*,1993). De fato, a ETB opera com idade do lodo igual a 50 dias, fator que demonstra que as características do processo podem ser presumidas pelos organismos dominantes no TK-02.

Conforme Costa *et al.* (2003), abundância e biodiversidade elevadas sugerem um ambiente com menor grau de estresse e maior estabilidade. Com base nos resultados da avaliação microbiológica pode-se afirmar que o reator biológico (TK-02) é um ambiente bastante estável, dada a diversidade de microrganismos encontrada (Figura 20).



Figura 20 – Diversidade de protozoários e metazoários presentes no lodo da ETB.

A) Ciliado andarilho (possivelmente *Euplotes* sp), B) Tecameba (possivelmente *Arcella* sp), C) Ciliado fixo (*Thuricola* sp) e D) Rotífero.

5.2.2 Bactérias e morfologia dos flocos biológicos

Bactérias filamentosas, em especial *Nocardia* sp, foram observadas, inicialmente, em quantidade ideal à boa morfologia dos flocos, sendo a densidade desses organismos classificados em 3 segundo a escala de Jenkins *et al.* (2003) – ver Tabela 13.

Tabela 13 – Escala de Jenkins *et al.* (2003) para densidade de bactérias filamentosas.

Classificação	Densidade	Descrição
a-b	1-2	Poucos
c-d	3-4	Ideal, mas com cuidado
e-f	5-6	Excesso

O gráfico da Figura 21 mostra que após um período de tempo houve um crescimento de bactérias filamentosas, em número considerado excessivo e possivelmente nocivo ao tratamento. Essa idéia é reforçada pelos gráficos de índice volumétrico (IVL) e densimétrico (IDL) do lodo, apresentados na Figura 22. IVL e IDL são grandezas inversamente proporcionais. Quanto maior o IVL, mais difícil é a sedimentação dos flocos.

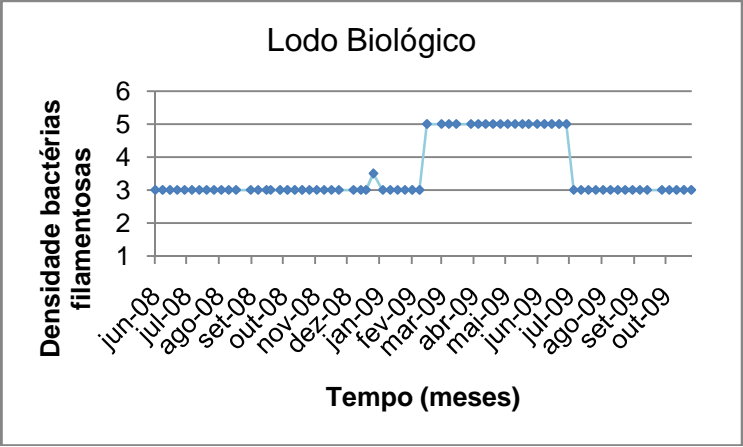


Figura 21 – Densidade de bactérias filamentosas.

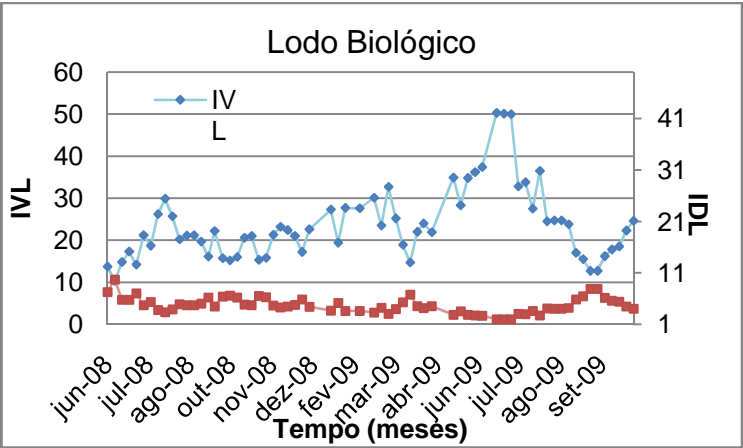


Figura 22 – Índice volumétrico (IVL) e índice densimétrico (IDL) do lodo.

Segundo a análise morfológica dos flocos biológicos percebe-se que no TK-02 ocorre predominância de flocos pequenos, fracos a firmes, irregulares e difusos a compactos, conforme podemos visualizar através da Figura 23. Tais características, que podem estar relacionadas baixa relação alimento/microrganismo (A/M), não são consideradas ideais para uma boa decantação do lodo. Convém ressaltar, no entanto, que essas condições não causam prejuízos ao efluente final da ETB e não se constituem em um grave problema operacional, uma vez que existe a dosagem de polímero para auxiliar no processo de decantação do lodo no clarificador secundário (CL-02).

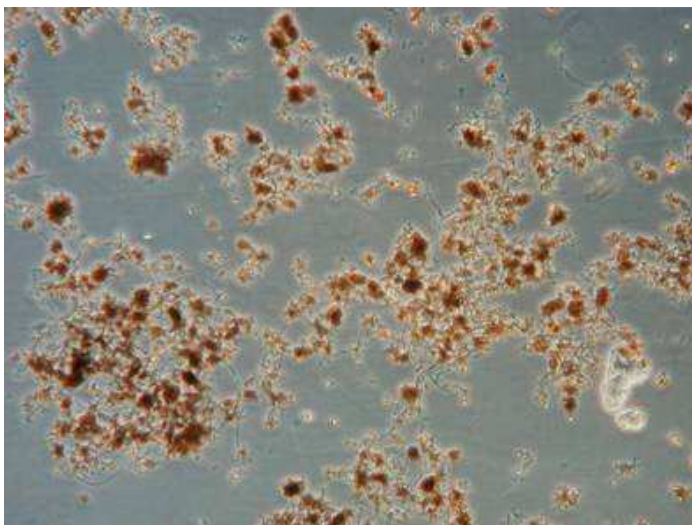


Figura 23 – Morfologia dos flocos biológicos

As características do processo, indicadas pelos organismos dominantes nos reatores, revelaram que na maioria do período estudado o sistema apresentou alta idade do lodo, indicada principalmente pela presença de tecamebas, baixa relação A/M,

evidenciada pela presença de *Nocardia* sp e tecamebas e ocorrência de nitrificação verificada pela densidade de bactérias nitrificantes presentes no sistema (BENTO *et al.*, 2002).

5.3 Correlações dos parâmetros físico-químicos do efluente com a microbiota

As análises de correlação foram realizadas com os grupos cuja ocorrência foi significativa ao longo do estudo, quais sejam: rotíferos, ciliados andarilhos, bactérias nitrificantes e filamentosas. Os coeficientes de correlação dos grupos biológicos com parâmetros físico-químicos do efluente estão apresentados na Tabela 14. Os testes estatísticos estão disponíveis no apêndice C.

Tabela 14 – Coeficientes de correlação dos parâmetros físico-químicos do efluente com a microbiota.

Grupos	DBO	DQO	Cianeto total	Fenóis totais	SST	pH	Nitrogênio Amoniacal
Ciliados andarilhos	-0,13	-0,07	0	0,09	0,06	0,35*	0,03
Rotíferos	0,07	0,08	-0,31*	0,04	0,08	-0,06	0,07
Bactérias nitrificantes	0,09	-0,10	0,16	-0,05	- 0,06	-0,03	-0,11
Bactérias filamentosas	0,02	0,22	-0,15	0,23	0,05	0,13	0,09

* $p < 0,05$

Vários estudos (BENTO *et al.*, 2005; GARCIA, 1993; OLIVEIRA *et al.*; 2009) constataram correlação negativa entre as concentrações de DBO, DQO e a microbiota do lodo, indicando que o aumento nas concentrações desses parâmetros implicam na redução da biodiversidade nos reatores biológicos. Tais condições não foram observadas na ETB, onde nenhuma correlação significativa entre os microrganismos e os valores de DBO e DQO do efluente inicial (licor) foi constatada. Há de se observar,

entretanto, que a DBO está relacionada com o alimento disponível para o microrganismo, sendo este parâmetro elevado, assume-se que não houve falta de alimento para os microrganismos.

Os rotíferos apresentaram correlação negativa com a concentração de cianeto, indicando que concentrações mais altas de cianeto podem causar efeitos tóxicos sobre esses microrganismos, reduzindo, assim, sua densidade dentro do reator. Em casos de toxicidade, a biodegradação de substâncias e a eficiência dos processos biológicos podem ser afetadas (LISS & ALLEN, 1992).

Compostos químicos causadores de toxicidade aos microrganismos tratadores de efluentes podem desencadear respostas específicas, identificáveis através da observação dos protozoários e metazoários. Segundo Jenkins *et al.* (1993), os metais pesados e o cianeto podem desencadear o seguinte quadro, podendo se limitar apenas a algumas ou a todas as etapas, de acordo com o grau de toxicidade:

- Etapa 1: Impacto sobre ciliados e rotíferos, com conseqüente redução da atividade;
- Etapa 2: Os grupos predominantes dão lugar a flagelados pequenos, pequenos ciliados, podendo ocorrer o crescimento excessivo desses organismos;
- Etapa 3: Os flocos se quebram, aumentando a turbidez pelo aumento de células livres;
- Etapa 4: Por fim ocorre a morte desses protozoários.

Ainda de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a única correlação do pH do efluente bruto ocorreu os ciliados andarilhos. A relação entre alguns parâmetros físico-químicos, a exemplo do pH e uma determinada espécie, não segue necessariamente um padrão linear, pois existe uma faixa ótima de desenvolvimento, sendo que acima ou abaixo dela a espécie pode diminuir sua densidade ou mesmo desaparecer (SALVADÓ *et al.*, 1995 in OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Cabe destacar também que, embora não tenha sido estatisticamente correlato no presente estudo, as bactérias nitrificantes possuem relação inversa com a amônia. Vazoller *et al.* (1989) e Bento *et al.* (2005) relataram, a ocorrência de nitrificação associada à presença de ciliados andarilhos, demonstrando que a ocorrência dessa espécie é beneficiada com a redução de nitrogênio amoniacal, porém tal comportamento não foi aqui atestado.

5.4 Correlações entre os parâmetros físico-químicos do processo e a microbiota

As correlações da microbiota com os parâmetros físico-químicos do processo (TK-02) podem ser visualizadas através da Tabela 15.

Sabe-se que, em geral, a atividade dos organismos é afetada pela temperatura e que as taxas de crescimento aumentam com temperaturas elevadas (CURDS, 1982). A temperatura demonstrou exercer influência no TK-02, apresentando correlação positiva com rotíferos e bactérias filamentosas. Contrariamente ao esperado, não houve correlação entre os microrganismos e os níveis de OD do TK-02. As correlações positivas com o OD seriam coerentes, pois o aumento não excessivo de oxigênio tende a aumentar a eficiência do processo (MEDONÇA, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

As concentrações de sólidos suspensos, totais e sedimentáveis (SST e SSD), foram diretamente proporcionais à densidade de rotíferos. Usualmente, a quantidade de sólidos no licor misto é usada para estimar a quantidade de microrganismos presentes no lodo (YOKOI, 1999), especialmente quando nenhuma informação sobre o número destes é fornecida (OLIVEIRA, 2009).

Tabela 15 – Coeficientes de correlação entre os parâmetros físico-químicos do processo e a microbiota.

Grupos	OD	Temp.	SSD	SST	IVL	IDL	Nitrito	Nitrato
Ciliados andrillhos	-0,05	-0,10	0,20	0,07	0,20	-0,18	0,16	0,14
Rotíferos	0,17	0,27*	0,35*	0,30*	0,16	-0,16	0,17	0,35*
Bactérias nitrificantes	-0,10	-0,21	-0,11	0,03	-0,15	-0,16	-0,13	-0,07
Bactérias filamentosas	0,12	0,28*	0,61*	0,17	0,43*	-0,43*	0,43*	0,24

*p < 0,05

Bactérias filamentosas também apresentaram correlação importante com SSD, porém inversa àquela esperada. Uma vez que se discute amplamente na literatura que a sedimentabilidade do lodo é afetada de modo negativo pelo crescimento de filamentos, podendo causar intumescimento do lodo (JEKINS *et al.*, 1993; BENTO *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2009), torna-se deveras estranho o resultado de uma correlação positiva entre esses dois parâmetros.

Há de se observar, contudo, que durante a maior parte do tempo de estudo, as bactérias filamentosas foram encontradas em densidade considerada ideal para a formação dos flocos biológicos, de acordo com a escalada de Jenkins *et al.* (1993). As bactérias filamentosas, como a *Nocardia* sp, formam a macroestrutura dos flocos e possuem alta capacidade de consumir a matéria orgânica. Enquanto o número de bactérias filamentosas permanecer constante, não haverá problemas. No entanto, se o número de filamentos começar a aumentar e esses filamentos se estenderem para além dos flocos, problemas de sedimentação poderão ocorrer.

As bactérias filamentosas apresentaram, ainda, forte correlação positiva com o IVL e forte correlação negativa com o IDL. Esses resultados são coerentes com o fato amplamente discutido na literatura, de que bactérias filamentosas em excesso prejudicam a decantação do lodo. Índices altos de IVL e baixos de IDL caracterizam um lodo com características inadequadas a sedimentação (VON SPERLING, 1996).

As bactérias filamentosas constituem-se, então, num indicador de que o sistema pode ser levado ao bulking, caso cresçam demasiadamente e que é aconselhável lançar mão de medidas preventivas ou corretivas para que isto não aconteça. Um exemplo de medida corretiva é a adição de polímeros no decantador secundário, procedimento adotado pela ETB para garantir a qualidade do efluente final.

Ressalta-se que, mesmo no período em que a presença de bactérias filamentosas foi considerada crítica, o IVL não atingiu valores que caracterizassem intumescimento (*bulking*) do lodo. No entanto, convém investigar se a permanência de polímero no sistema e conseqüente acréscimo de sólidos no reator, devido a recirculação do lodo, prejudicam o desenvolvimento da microfauna.

Uma alternativa para que a decantação não dependa de agentes artificiais auxiliares de floculação, segundo Lima *et al.* (2007), é melhorar a disponibilidade de nutrientes, tais quais nitrogênio, fósforo e matéria carbonácea, contribuindo com o crescimento de bactérias formadoras de flocos.

A taxa de crescimento das bactérias filamentosas e das bactérias formadoras de floco em função da concentração de substrato é observada na Figura 24. Conforme apresentado, as bactérias filamentosas possuem velocidade de crescimento bem mais elevada para baixas concentrações de substrato em reator de mistura completa, do que as não filamentosas. Isso pode ser generalizado em condições limitadas de crescimento onde o desenvolvimento de filamentos é favorecido (ECKENFELDER & PETR GRAU, 1992).

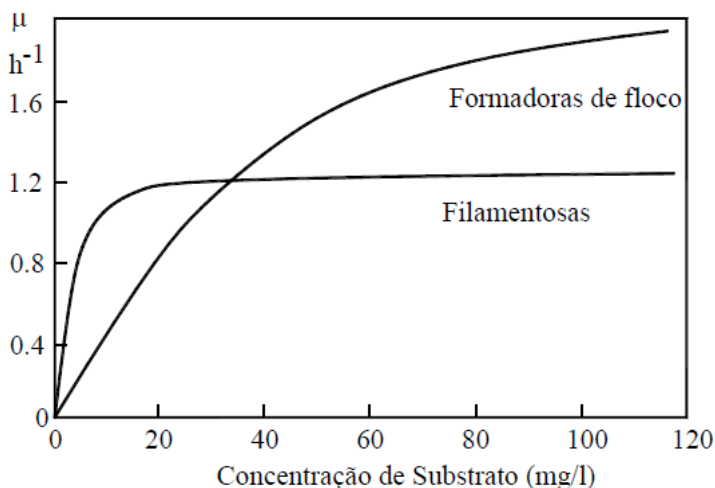


Figura 24 – Velocidade de crescimento das bactérias em função da concentração de substrato.

(Fonte: Eckenfelder & Petr Grau, 1992).

5.5 Identificação de bioindicadores e qualidade do efluente final

Vejamos, finalmente, as correlações dos grupos biológicos com a porcentagem de remoção de DBO e DQO e os SST presentes no efluente final. Os dados podem ser visualizados através da Tabela 16.

Tabela 16 – Coeficientes de correlação entre a microbiota, a porcentagem de remoção da DBO e DQO e a concentração de SST presente no efluente final.

Grupos	DBO % remoção	DQO % remoção	SST (efluente final)
Ciliados andarilhos	-0,07	0,14	0,03
Rotíferos	0,12	-0,10	0,32*
Bactérias nitrificantes	0,07	-0,02	-0,03
Bactérias filamentosas	0,14	-0,08	0,28*
Densidade total	0,19	0,32*	-0,25*

Não se estabeleceu nenhuma correlação significativa entre os grupos e a remoção de DBO e DQO. Já as concentrações de SST apresentaram relação diretamente proporcional com a densidade de rotíferos e bactérias filamentosas. Quanto maior a densidade de organismos nos reatores, maior também a concentração de sólidos no efluente (BENTO *et al.*, 2005). Alguns microrganismos, a exemplo dos rotíferos de vida livre, não se agregam aos flocos e, por essa razão, saem do sistema junto com o efluente final.

As correlações significantes entre a densidade total da microfauna e os parâmetros físico-químicos do efluente final indicam que quanto maior a densidade e diversidade de organismos no reator, maior a remoção desses parâmetros do sistema.

As análises físico-químicas do efluente final evidenciaram que a ETB apresentou um excelente desempenho durante o período de estudo. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a eficiência de remoção dos contaminantes, bem como alguns parâmetros que caracterizam o seu efluente final da ETB.

Tabela 17 – Parâmetros do efluente final e eficiência de remoção dos contaminantes.

Parâmetro	Número de dados	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio ± desvio padrão	Eficiência de remoção (%)
SST (mg SS/L)	66	1,00	76,00	18,96 ± 18,75	71,3 ± 22,8
DBO (mg O₂/L)	66	< 2,00	7,25	2,19 ± 0,75	99,7 ± 0,2
DQO (mg O₂/L)	66	50,80	149,00	76,45 ± 19,67	96,7 ± 1,2
Cianeto total (mg CN/L)	65	0,02	0,37	0,12 ± 0,04	95,4 ± 1,7
Fenóis totais (mg C₆H₅OH/L)	66	< 0,01	0,16	0,01 ± 0,02	100 ± 0

*Não foram mostrados na tabela todos os parâmetros monitorados pela ETB ao fim do processo.

Os gráficos das figuras 25 a 29 mostram as reduções dos contaminantes apresentados na Tabela 17.

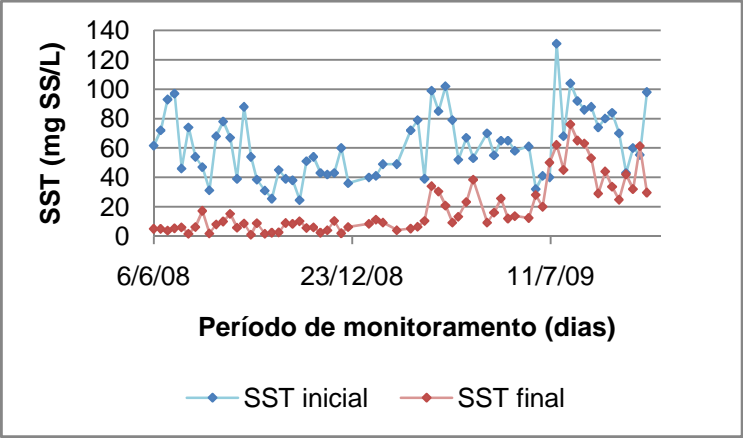


Figura 25 – Redução das concentrações de SST.

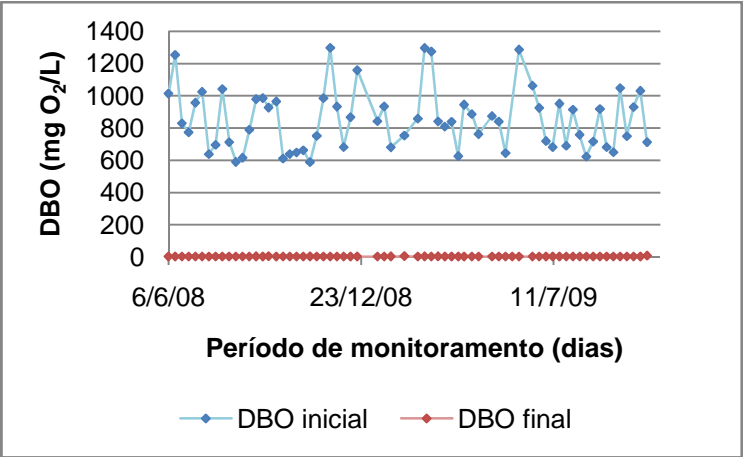


Figura 26 – Redução das concentrações de DBO.

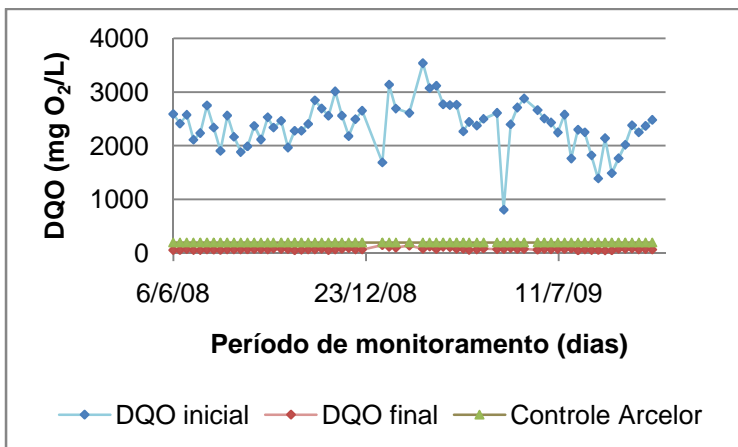


Figura 27 – Redução das concentrações de DQO.

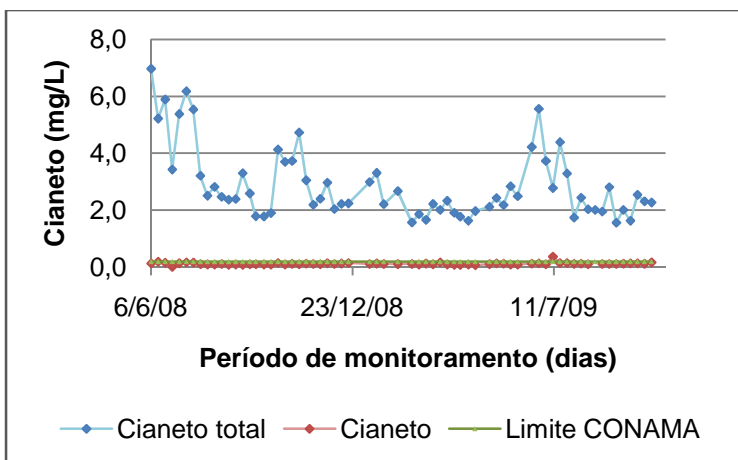


Figura 28 – Redução das concentrações de cianeto total.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na avaliação da eficiência do monitoramento microbiológico no controle operacional da ETB da Arcelor Mittal Tubarão, conclui-se:

- A remoção dos contaminantes presentes no efluente bruto está associada à comunidade biológica do reator como um todo e não a grupos isoladamente, sendo desejável um equilíbrio entre as espécies e não o predomínio de algumas;
- A eficiência do tratamento foi boa e constante durante o período avaliado, evidenciando o equilíbrio e a integridade da microbiota;
- A presença de bactérias filamentosas, em especial a *Nocardia* sp, juntamente com as características de lodo pequeno e disperso, indicou que a ETB opera com baixa relação A/M;
- Maiores densidades da microfauna no reator biológico implicaram em melhores reduções de DQO;
- Rotíferos e tecamebas indicaram idade do lodo elevada;
- Apesar do lodo não apresentar características ideais de sedimentabilidade, uma vez que se apresenta disperso e com flocos dispersos (*pin point floc*), tornando a ETB dependente da adição de polímeros que facilitem a decantação, não se evidenciou nenhum episódio de *bulking* (intumescimento filamentoso do lodo);
- A avaliação microbiológica da ETB permitiu diagnosticar causas de queda da performance no tratamento, indicando soluções para os problemas identificados. Sendo assim, o monitoramento microbiológico se constitui uma importante ferramenta de controle operacional de uma ETE.

Sugere-se, por fim, que em futuras pesquisas envolvendo estudos microbiológicos na ETB da Arcelor Mittal Tubarão, o tempo de detenção hidráulica da planta seja levado em

consideração ao se definir o cronograma de coleta e análises das amostras, resultando numa maior representatividade das relações entre a comunidade presente no lodo e as características do efluente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU E LIMA, I.; MENEZES, J.O.R.; CUNHA, O.G. Oportunidades de produção de aço em Mato Grosso do Sul. // Revista Escola de Minas – Ouro Preto: [n. 3], 2007. – Vol. 60.

AMMAN, R.; GLOCKNER, F.O.; NEEF, A. Modern methods in subsurface microbiology: in situ identification of microorganisms with nucleic acid probes. FEMS Microbiology Reviews. V.20, n. 3-4, p.191-200, 1997.

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. Ed. Baltimore/Maryland: Port City Press/American Public Health Association, 2005.

_____. APLYSIA, 2003. Monitoramento dos microrganismos da estação de tratamento biológico da CST: relatório técnico parcial. 40p.

_____. APLYSIA. Avaliação das Estações de Tratamento de Efluentes. Detalhamento Técnico. [Folder Explicativo]. - Vitória : [s.n.], 2009.

ARAÚJO, L. A. Manual de siderurgia: produção. Arte & Ciência, v.1, São Paulo: 1997.

BENTO, A.P., SEZERINO, P.H., PHILIPPI, L.S., REGINATTO, V., LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em Estação de Tratamento de Esgotos do tipo Lodo Ativado: um instrumento de avaliação e controle de processo. // Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – Rio de Janeiro: [n. 4], 2005. – Vol.10. p.329-338.

BERK, S.G.; GUNDERSON, J.H. Wastewater organisms: a color atlas. / Sharon G. Berk and John H. Gunderson. Florida: CRC Press, 1993. 25 p.

BRAILE, P.M. & CAVALVANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias, CETESB. São Paulo: 1993. 764p.

BRANCO, S.M. Biologia da poluição. In: CETESB (1976). Ecologia aplicada e proteção do meio ambiente. São Paulo: 1976.

CAMPOS, J.R. Anterнатinas para Tratamento de Esgotos – Pré-tratamento de Águas para Abastecimento, Publicação no 09. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994.

CONSIDINE, T.J.; JABBLONOWSKI, C.; CONSIDINE, D.M.M. The environment and new technology adoption in US steel industry. Pennsylvania: National Science Foundation and Lucent Technologies, 2001. 120p.

COSTA, F.C. Tratamento do efluente de uma indústria química pelo processo de lodos ativados convencional e combinado com carvão ativado. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n.4, p. 274-284, 2003.

_____. Environment Protect Agency. Toxicological review of phenol. Washington, DC: Office of Enforcement and Compliance Assurance. 2005. 114p. Disponível na internet em: <http://www.usepa.gov/iris>

FERREIRA, A.P., CUNHA, C.L.N., ROQUE, O.C.C. Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados. Gaia Scientia – João Pessoa: [n.2], 2008. – Vol.1.

FIGUEIREDO, M. G.; DOMINGUES, V.B. Microbiologia de Lodos Ativados. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 48 p. 1997.

FURLEY, T.H. Fechamento de circuito versus qualidade dos efluentes. [Periódico]. - [s.l.] : O Papel: Revista mensal de tecnologia em Celulose e Papel, 2003.

GERARDI, M.H. An operator's guide to protozoa and their role in the activated sludge process. Public Works. July. 1986, p. 44-47/90-92.

GHOSE, M.K. Complete physic-chemical treatment for coke plant effluents. Water Research, v. 36, P.1127-1134, 2002.

GIACOMIN, Heloísa. Determinação da concentração tóxica do composto cianeto aos microrganismos tratadores do efluente da Estação de Tratamento Biológico da Companhia Siderúrgica Tubarão. [TCC] Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Ciências Biológicas. Vitória: 2004.

HOFFMANN, H., PLATZER, C. Aplicação de imagens microscópicas do lodo ativado para a detecção de problemas de funcionamento das estações de tratamento de esgotos na Alemanha. In: I SEMINÁRIO DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO, Anais... Universidade Federal do Espírito Santo, p. 108-120. 2000.

HORAN, N.J. Biological wastewater treatment systems: theory and operation. Chichester; New York: Willey, 1990.

HOWARTH, R.W. Human acceleration of the nitrogen cycle: drivers, consequences, and steps toward solutions. Water Science and Technology, v. 49, 2004.

_____. Instituto Aço Brasil. Siderurgia no Brasil e no Mundo. Disponível na internet em: <http://www.acobrasil.org.br/> Rio de Janeiro: 2009.

_____. Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS). Anuário Estatístico. Rio de Janeiro: 2008.

JENKINS, D.; RICHARD, M.D.; DAUGGER, G.T. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming, 2a ed., Lewis Publishers, Inc, 193p., Estados Unidos: 1993.

KIM, Y.M.; PARK, D.; LEE, D.S.; PARK, J.M. Inhibitory effects of toxic compounds on nitrification process for cokes wastewater treatment. Journal of Hazardous Materials, v. 152, p.915-921, 2008.

KONTENBADER, P.D.; FLECKSTEINER, J.W. Biological oxidation of coke plant weak ammonia liquor. Journal of Water Pollution Control Federation, v.41. n.2. part 1, p.199-202, 1969.

LA RIVIÉRE, J.W.M. Microbial ecology of liquid waste treatment. *Advances in microbial ecology*, 1, p. 215-259.

LESTER, J.N. & BIRKETT, J.W. *Microbiology and chemistry for environmental scientists and engineers*. London: E&FN Spon, 1999.

MACHADO, C. M. Avaliação do comportamento hidrodinâmico de um floculador/decantador utilizado na remoção de cianeto e sua relação com a eficiência do processo de tratamento. Universidade Federal do Espírito Santo. [Dissertação]. – Vitória: 2002 - 120p.

MADONI, P. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Research*. Vol. 28, 1, PP. 67-75, 1994.

MADONI, P.; DAVOLI, D.; GIBIN, G. Survey of Filamentous Microorganisms from Bulking and Foaming Activated-Sludge Plants in Italy, *Water Research*, 34 (6): 2000, p. 1767-1772.

MENDONÇA, L.C. Microbiologia e Cinética de Sistemas de Lodos Ativados como Pós-tratamento de Efluente de Reator Anaeróbico de Leito Expandido. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 2002. 219p.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 3a ed., McGraw-Hill, 1334p., Nova York: 1991.

MOURÃO, M. B. (Org.) *Siderurgia para não siderurgistas*. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e materiais, 2001. 299p.

NICOLAU, A.; DIAS, N.; MOTA, M.; LIMA, N. Trends in the use of protozoa in the assessment of wastewater treatment. *Res. Microbiol.*, 152, p.621-630, 2001.

OLIVEIRA, G.H.S.S.; ARAÚJO, C.V.M.; FERNANDES, J.G.S. Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetrel.

Revista Engenharia Sanitária e Ambiental: [n.2], 2009 – Vol.14, p.183-192.

OLIVEIRA, V. Relatório Setorial Final – Setor: Siderurgia. Brasília: Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, 2007. 64p. Disponível na internet em: <http://www.finep.gov.br/PortalDPP>.

PANDEY, R.A, PARHAD, N.M., KUMARAN, P. Biological treatment of low temperature carbonization wastewater by activated sludge process – A case study. Water Research. v.25, n.12, p.1555-1564, 1991.

PAULINYI, Helene Maria. Otimização Tecnológica da Estação de Tratamento Biológico (ETB) de Águas Residuárias de Coqueria [Tese de doutorado]. - Belo Horizonte : 2005.

PRAKASAM, T. B. S.; LOEHR, R. C. Microbial nitrification and denitrification in concentrated wastes. Water Research, v. 6, p. 859-869, 1972.

PUJOL, R. CANLER, J.P. Biosorption and Dynamics of Bacterial Populations in Activated Sludge, Water Research, 26 (2): 1992, p.209-212.

QUEIROZ, L.M. Tratamento de despejo de coqueria via nitrificação/desnitrificação operando um sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2009. 185p.

RANDALL, C.W.; BERNARD, J.L.; STENSE H.D. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. Lancaster, Technomic Publishing Company, 1995.

REBHUN, M. & GALIL, N. Technological strategies for protecting and improving the biological treatment of wastewater from a petrochemical complex. Water Science Technology. v.29, p.131-141, 1994.

SUIDAN, M. T.; NAJM, J.; PFEFFER, J.; VANG, Y.T. Anaerobic biodegradation of Phenol, inhibition kinetics and system stability. Journal of Environmental Engineering, Nova York, v. 114, n. 6, p. 1359-1376, 1988.

TORRES, D.P.C. Estudo Microbiológico da Influência da Adição Química de Ácido Fólico em Sistemas de Lodos Ativados. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2005. 180p.

VAN BENTHUM, W. Integrated nitrification and denitrification in biofilm airlift reactors: biofilm development, process design and hydrodynamics. Tese (Doutorado) – Universidade de Delft, Holanda. Delft, 1998.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado.: Campina Grande: Epgraf, 1999, 488p.

VÁZQUEZ, I.; RODRÍGUEZ, J.; MARAÑÓN, E.; CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ, Y. Simultaneous removal of phenol, ammonium and thiocyanate from coke wastewater by aerobic biodegradation. *Journal of Hazardous Materials (B)*, v.137, p.1773-1780, 2006.

VILANOVA, X. & BLANCH, A.R. Distribution and persistence of fecal bacterial populations in liquid and dewatered sludge from a biological treatment plant. *The Journal of General and Applied Microbiology*: [n.6], 2005 – Vol.51, p.361-8.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos / Marcos Von Sperling. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 211p.

YIBO, W.; MIN, Z.; YI, Q. Biological treatment of coke-plant wastewater for COD and NH₃-N removal. *Water Science and Technology*, v. 23, n. 10-12, p.1883-1892, 1991.

ZAR, J.H. Biostatistical analysis. 3 ed. USA: Ed. Prentice-Hall/Upper Saddle River, 1996.

APENDICE A – RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES MICROBIOLÓGICAS

	Planilha de análise semanal	FQ.UOP.AM.003	
		Revisão: 00	Emissão 02/08/2007

CLIENTE: CST

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO EFLUENTE DA ETB	
DATA: 04/06/2008	
AMOSTRA	TK2
ABUNDÂNCIA DE FILAMENTOS a-b / 1-2 = poucos c-d / 3-4 = ideal, mas com cuidado e-f / 5-6 = excesso	3,0
TIPOS DE FILAMENTOS MAIS ABUNDANTES	<i>Nocardia</i> spp.
CAUSA DOS FILAMENTOS	Não se preocupe
FLOCOS BIOLÓGICOS	Fracos a firmes, irregulares e difusos a compactos. 53% pequenos, 38% médios e 9% grandes.
Nº TOTAL de colônias de Bactérias Nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04 g).	206
TAMANHO das colônias de Nitrificantes (μm^2) 0 a 100 μm^2 → pequenas 100 a 300 μm^2 → médias acima de 300 μm^2 → grandes	186 pequenas e 20 médias.
ÁREA MÉDIA das colônias de bactérias nitrificantes	45,53 μm^2
ÁREA TOTAL das colônias de bactérias nitrificantes (área média x nº total de colônias)	9.378,923 μm^2
QUANTIDADE DE PROTOZOÁRIOS	Pouco-médio (11)
QUANTIDADE DE ROTÍFEROS	Raro (01)
QUANTIDADE DE GASTROTRICHIOS	Ausentes
QUANTIDADE DE ANELÍDEOS	Ausentes
TOTAL DE MICRORGANISMOS	Pouco-Médio (12)
FIBRAS	Raro
ÓLEO	Raro

	Planilha de análise semanal		FO.UOP.AM.003
			Revisão: 00 Emissão: 02/08/2007


CLIENTE: ARCELORMITTAL

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO EFLUENTE DA ETB	
DATA: 11/06/2008	
AMOSTRA	TK2
ABUNDANCIA DE FILAMENTOS a-b / 1-2 = poucos c-d / 3-4 = Ideal, mas com cuidado e-f / 5-6 = excesso	3,0
TIPOS DE FILAMENTOS MAIS ABUNDANTES	<i>Nocardia</i> spp.
CAUSA DOS FILAMENTOS	Não se preocupe
FLOCOS BIOLÓGICOS	Fracos a firmes, irregulares e difusos a compactos. 71% pequenos, 24% médios e 5% grandes.
Nº TOTAL de colônias de Bactérias Nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04 g).	164
TAMANHO das colônias de Nitrificantes (μm^2) 0 a 100 μm^2 → pequenas 100 a 300 μm^2 → médias acima de 300 μm^2 → grandes	153 pequenas e 11 médias.
ÁREA MÉDIA das colônias de bactérias nitrificantes	45,90 μm^2
ÁREA TOTAL das colônias de bactérias nitrificantes (área média x nº total de colônias)	7.527,19 μm^2
QUANTIDADE DE PROTOZOÁRIOS	Pouco-médio (12)
QUANTIDADE DE ROTÍFEROS	Poucos (02)
QUANTIDADE DE GASTROTRÍCHIOS	Ausentes
QUANTIDADE DE ANELÍDEOS	Raros (01)
TOTAL DE MICRORGANISMOS	Médio (15)
FIBRAS	Raro
ÓLEO	Raro

	Planilha de análise semanal	
	Revisão: 00	FO.UOP.AM.003 Emissão: 02/08/2007


CLIENTE: ARCELORMITTAL

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO EFLUENTE DA ETB	
DATA: 18/06/2008	
AMOSTRA	TK2
ABUNDÂNCIA DE FILAMENTOS a-b / 1-2 - poucos c-d / 3-4 - ideal, mas com cuidado e-f / 5-6 - excesso	3,0
TIPOS DE FILAMENTOS MAIS ABUNDANTES	<i>Nocardia</i> spp.
CAUSA DOS FILAMENTOS	Não se preocupe
FLOCOS BIOLÓGICOS	Fracos a firmes, irregulares e difusos a compactos. 57% pequenos, 38% médios e 5% grandes.
Nº TOTAL de colônias de Bactérias Nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04 g).	174
TAMANHO das colônias de Nitrificantes (μm^2) 0 a 100 μm^2 → pequenas 100 a 300 μm^2 → médias acima de 300 μm^2 → grandes	166 pequenas e 8 médias.
ÁREA MÉDIA das colônias de bactérias nitrificantes	49,65 μm^2
ÁREA TOTAL das colônias de bactérias nitrificantes (área média x n° total de colônias)	8.638,665 μm^2
QUANTIDADE DE PROTOZOÁRIOS	Médio (15)
QUANTIDADE DE ROTÍFEROS	Raro (01)
QUANTIDADE DE GASTROTRICHIOS	Ausentes
QUANTIDADE DE ANELÍDEOS	Poucos (02)
TOTAL DE MICRORGANISMOS	Médio (18)
FIBRAS	Raro
ÓLEO	Raro

	Planilha de análise semanal		FO.UOP.AM.003
	Revisão: 00	Emissão: 02/08/2007	

CLIENTE: ARCELORMITTAL

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO EFLUENTE DA ETB	
DATA: 25/06/2008	
AMOSTRA	TK2
ABUNDÂNCIA DE FILAMENTOS a-b / 1-2 = poucos c-d / 3-4 = ideal, mas com cuidado e-f / 5-6 = excesso	3,0
TIPOS DE FILAMENTOS MAIS ABUNDANTES	<i>Nocardia</i> spp.
CAUSA DOS FILAMENTOS	Não se preocupe
FLOCOS BIOLÓGICOS	Fracos a firmes, irregulares e difusos a compactos. 80% pequenos, 20% médios e 11% grandes.
Nº TOTAL de colônias de Bactérias Nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04 g)	124
TAMANHO das colônias de Nitrificantes (μm^2) 0 a 100 μm^2 → pequenas 100 a 300 μm^2 → médias acima de 300 μm^2 → grandes	115 pequenas e 9 médias.
ÁREA MÉDIA das colônias de bactérias nitrificantes	65,63 μm^2
ÁREA TOTAL das colônias de bactérias nitrificantes (área média x nº total de colônias)	8.138,12 μm^2
QUANTIDADE DE PROTOZOÁRIOS	Pouco-médio (14)
QUANTIDADE DE ROTÍFEROS	Raro (01)
QUANTIDADE DE GASTROTRÍCHIOS	Ausentes
QUANTIDADE DE ANELÍDEOS	Raro (01)
TOTAL DE MICRORGANISMOS	Médio (16)
FIBRAS	Raro
ÓLEO	Raro

	Planilha de análise semanal		FO.UOP.AM.003
			Revisão: 00 Emissão: 02/08/2007

CLIENTE: ARCELORMITTAL

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO EFLUENTE DA ETB	
DATA: 02/07/2008	
AMOSTRA	TK2
ABUNDÂNCIA DE FILAMENTOS a-b / 1-2 = poucos c-d / 3-4 = ideal, mas com cuidado e-f / 5-6 = excesso	3,0
TIPOS DE FILAMENTOS MAIS ABUNDANTES	<i>Nocardia</i> spp.
CAUSA DOS FILAMENTOS	Não se preocupe
FLOCOS BIOLÓGICOS	Fracos a firmes, irregulares e difusos a compactos. 52% pequenos, 32% médios e 16% grandes.
Nº TOTAL de colônias de Bactérias Nitrificantes por gota de efluente analisada (0,04 g).	177
TAMANHO das colônias de Nitrificantes (μm^2) 0 a 100 μm^2 → pequenas 100 a 300 μm^2 → médias acima de 300 μm^2 → grandes	161 pequenas e 15 médias.
ÁREA MÉDIA das colônias de bactérias nitrificantes	89,55 μm^2
ÁREA TOTAL das colônias de bactérias nitrificantes (área média x nº total de colônias)	12.311,11 μm^2
QUANTIDADE DE PROTOZOÁRIOS	Pouco-médio (15)
QUANTIDADE DE ROTÍFEROS	Raro (01)
QUANTIDADE DE GASTROTRICHOS	Ausentes
QUANTIDADE DE ANELÍDEOS	Raro (01)
TOTAL DE MICRORGANISMOS	Médio (16)
FIBRAS	Raro
ÓLEO	Raro

APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO EFLUENTE

Data	Amostra	Procedência	pH	Sulfeto total	Nitrogênio Amoniacal	Cianeto total	DBO	Zinco total	DQO	Chumbo Total	Óleos e graxas	Fenóis totais	SSD	SST
6/6/2008	6638/08	licor	7,40	4,19	108,00	6,97	1014,00	0,074	2590	0,008	4,35	520	0,10	61,60
13/6/2008	7608/08	licor	7,00	1,90	116,00	5,22	1254,00		2413		10,00	358	0,10	72,00
20/6/2008	7165/08	licor	7,40	2,38	116,00	5,89	829,00	0,165	2575	0,018	15,20	363	0,10	93,00
27/6/2008	7410/08	licor	7,00	3,59	110,00	3,43	773,00		2112		10,90	354	0,10	97,00
4/7/2008	8965/08	licor	7,20	3,18	119,00	5,38	957,00		2236		4,35	255	0,10	46,00
11/7/2008	8998/08	licor	7,60	2,39	130,00	6,18	1025,00	0,264	2750	0,031	4,35	407	0,2	74
18/7/2008	9013/08	licor	7,70	2,83	116,00	5,54	637,00	0,171	2338	0,016	4,35	337	0,1	54
25/7/2008	9028/08	licor	6,90	4,75	126,00	3,21	695,00		1905		4,35	278	0,1	47
1/8/2008	9188/08	licor	7,10	3,95	103,00	2,51	1042,00	0,179	2562	0,038	14,2	399	0,1	31,2
8/8/2008	9449/08	licor	7,10	1,36	127,00	2,82	712,00	0,048	2166	0,008	4,35	304	0,1	68
15/8/2008	9705/08	licor	7,00	4,72	140,00	2,47	589,00	0,061	1883	0,008	4,35	365	0,1	78
22/8/2008	9977/08	licor	7,20	2,72	107,00	2,37	615,00		1989		6,13	324	0,1	67
29/8/2008	10226/08	licor	7,00	2,64	113,00	2,39	789,00	0,068	2370	0,008	9,2	420	0,1	39
5/9/2008	10704/08	licor	7,20	5,35	100,00	3,30	979,00	0,173	2116	0,008	4,8	344	0,1	88
12/9/2008	10938/08	licor	7,10	4,12	110,00	2,59	985,00		2531		4,35	350	0,1	54
18/9/2008	11148/08	licor	7,10	5,59	131,00	1,79	927,00	0,065	2339	0,008	4,6	449	0,1	38,5

Data	Amostra	Procedência	pH	Sulfeto total	Nitrogênio Amoniacal	Cianeto total	DBO	Zinco total	DQO	Chumbo Total	Óleos e graxas	Fenóis totais	SSD	SST
26/9/2008	11440/08	licor	6,90	4,79	132,00	1,78	965,00		2464		4,35	406	0,1	31
3/10/2008	12268/08	licor	7,20	4,00	128,00	1,90	610,00	0,095	1968	0,008	6,2	246	0,1	25,5
10/10/2008	12287/08	licor	6,90	5,75	129,00	4,13	638,00		2278		9	282	0,1	45
17/10/2008	12303/08	licor	7,10	3,42	127,00	3,70	648,00	0,118	2278	0,008	8,6	262	0,1	39
24/10/2008	12322/08	licor	7,00	4,38	124,00	3,73	662,00		2405		4,35	330	0,1	38
31/10/2008	12341/08	licor	8,20	3,74	179,00	4,73	588,00		2846		4,35	469	0,1	24,5
7/11/2008	13830/08	licor	7,50	4,94	144,00	3,05	751,00	0,059	2693	0,008	4,35	416	0,1	51
14/11/2008	13849/08	licor	7,10	1,23	125,00	2,19	985,00		2558		4,35	417	0,1	54
21/11/2008	13868/08	licor	7,20	1,75	131,00	2,40	1298,00	0,023	3010	0,008	4,35	435	0,1	43
28/11/2008	13887/08	licor	7,20	3,50	144,00	2,97	933,00		2560		4,35	494	0,1	42
5/12/2008	15110/08	licor	7,00	3,72	126,00	2,04	681,00	0,089	2179	0,008	4,35	293	0,1	43
12/12/2008	15129/08	licor	6,90	3,80	134,00	2,22	867,00		2494		4,35	472	0,1	60
19/12/2008	15148/08	licor	6,80	1,88	124,00	2,24	1159,00	0,085	2651	0,008	4,35	513	0,1	36
9/1/2009	365/09	licor	6,80	3,16	93,80	2,99	842,00		1690		14,3	338	0,1	40
16/1/2009	384/09	licor	6,90	4,84	157,00	3,31	934,00	0,058	3137	0,008	7,8	428	0,1	41
23/1/2009	403/09	licor	7,30	4,24	175,00	2,21	680,00		2692			321	0,1	49
31/1/2009	422/09	licor	7,20	7,55	154,00	2,67	753,00		2609		4,35	404	0,1	49

Data	Amostra	Procedência	pH	Sulfeto total	Nitrogênio Amoniacal	Cianeto total	DBO	Zinco total	DQO	Chumbo Total	Óleos e graxas	Fenóis totais	SSD	SST
6/2/2009	1375/09	licor	7,20	12,10	183,00	1,57	858,00	0,144	3535	0,008	4,35	215	0,1	72
20/2/2009	1413/09	licor	7,00	5,36	149,00	1,86	1297,00	0,144	3071	0,008	4,35	417	0,1	79
27/2/2009	1424/09	licor	7,10	7,42	143,00	1,66	1275,00		3115			445	0,1	39
6/3/2009	2415/09	licor	7,10	6,36	159,00	2,22	841,00	0,159	2770	0,008		372	0,1	99
13/3/2009	2434/09	licor	6,90	4,94	134,00	2,01	808,00		2756		5	542	0,2	85
20/3/2009	2453/09	licor	6,90	3,04	151,00	2,33	839,00	0,213	2763	0,008	9	381	0,1	102
27/3/2009	2472/09	licor	6,70	3,45	103,00	1,91	625,00		2266		5	303	0,1	79
3/4/2009	3493/09	licor	6,80	5,00	113,00	1,77	945,00	0,106	2443	0,008	5	302	0,1	52
9/4/2009	3509/09	licor	7,90	6,13	132,00	1,63	886,00		2375		5	439	0,1	67
17/4/2009	3528/09	licor	7,00	2,94	117,00	1,97	762,00	0,083	2499	0,008	5	478	0,1	53
24/4/2009	3541/09	licor	7,10	4,73	136,00	2,12	874,00		2610		5	375	0,1	70
8/5/2009	4533/09	licor	7,50	5,88	98,60	2,43	840,00	0,013	811	0,008	5	378	0,1	55
15/5/2009	4552/09	licor	7,30	3,89	129,00	2,18	644,00		2398		5	368	0,1	65
22/5/2009	4571/09	licor	7,30	5,12	98,50	2,84		0,043	2711	0,008	5	275	0,1	65
29/5/2009	4590/09	licor	7,30	6,50	126,00	2,49	1287,00		2878		5	538	0,1	58
5/6/2009	5663/09	licor	7,30	6,96	129,00	4,22	1063,00	0,100	2663	0,008	5	378	0,1	61
19/6/2009	5695/09	licor	9,00	3,41	254,00	5,56	925,00		2506		5	521	0,1	32

Data	Amostra	Procedência	pH	Sulfeto total	Nitrogênio Amoniacal	Cianeto total	DBO	Zinco total	DQO	Chumbo Total	Óleos e graxas	Fenóis totais	SSD	SST
26/6/2009	5714/09	licor	7,10	5,54	119,00	3,73	719,00	0,181	2432	0,014	5	432	0,1	41
3/7/2009	6762/09	licor	7,20	7,78	176,00	2,78	681,00	0,274	2247	0,014	5	447	0,1	40
10/7/2009	6746/09	licor	7,10	5,81	103,00	4,39	951,00		2580		12,00	510	0,10	131,00
17/7/2009	6765/09	licor	6,90	7,74	123,00	3,29	689,00	0,257	1764	0,01	5,00	290	0,10	68,00
24/7/2009	6784/09	licor	7,00	8,31	125,00	1,74	914,00	0,120	2299	0,01	5,00	351	0,10	104,00
31/7/2009	6803/09	licor	7,30	7,70	132,00	2,44	758,00		2251		5,00	354	0,20	92,00
7/8/2009	8023/09	licor	7,20	9,35	122,00	2,03	622,00	0,100	1823	0,01	5,00	299	0,10	86,00
14/8/2009	8042/09	licor	7,30	6,61	75,60	2,01	716,00		1392		5,00	370	0,10	88,00
21/8/2009	8061/09	licor	7,70	8,40	142,00	1,95	918,00	0,091	2140	0,01	5,00	438	0,10	74,00
28/8/2009	8080/09	licor	7,30	8,24	112,00	2,81	681,00	0,126	1491	0,01	5,00	501	0,10	80,00
4/9/2009	9141/09	licor	6,80	16,40	118,00	1,56	649,00	0,146	1767	0,01	5,00	281	0,10	84,00
11/9/2009	9154/09	licor	6,80	12,50	129,00	2,01	1048,00		2020		5,00	292	0,10	70,00
18/9/2009	9173/09	licor	6,80	5,47	113,00	1,63	749,00	0,118	2381	0,01	5,00	381	0,10	43,00
25/9/2009	9192/09	licor	6,90	13,60	100,00	2,54	930,00		2250		5,00	303	0,10	60,00
2/10/2009	10382/09	licor	6,70	2,02	131,00	2,31	1031,00	0,084	2368	0,01	5,00	282	0,10	55,30
9/10/2009	10401/09	licor	6,80	12,00	120,00	2,27	712,00		2481		5,00	284	0,10	98,00
16/10/2009	10417/09	licor	6,90	1,31	129,00	5,56	459,00	0,246	2264	0,01	5,00	299	0,10	78,00

Data	Amostra	Procedência	pH	Sulfeto total	Nitrogênio Amoniacal	Cianeto total	DBO	Zinco total	DQO	Chumbo Total	Óleos e graxas	Fenóis totais	SSD	SST
23/10/2009	10436/09	licor	7,00	2,33	127,00	3,23	1079,00		2251		5,00	389	0,10	71,00
30/10/2009	10455/09	licor	7,50	2,77	128,00	2,87	732,00	0,188	2007	0,05	5,00	397	0,10	184,00

RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO LODO

Data	Amostra	Procedência	OD	Temperatura	Nitrogênio Nitrito	DQO	SST	DBO	Nitrogênio Nitrato	SSV	SSD	IVL	IDL	Cianeto Total
6/6/2008	6640/08	TK 02	0,93	26,49	0,775	4717	18220	169	38,1	4660	250,00	13,70	7,29	0,823
13/6/2008	7486/08	TK 02	1,91	26,45	0,040	5635	21370	227	44,3	5880	220,00	10,30	9,71	0,224
20/6/2008	7151/08	TK 02	1,43	25,26	0,020	5801	14870	204	5,7	4190	220,00	14,80	5,76	0,186
27/6/2008	7413/08	TK 02	1,67	24,51	0,077	4649	16230	215	37,0	5550	280,00	17,30	5,80	0,200
4/7/2008	8236/08	TK 02	1,78	25,11	0,069	5267	14110	199	16,0	4690	200,00	14,20	7,06	0,435
11/7/2008	9000/08	TK 02	1,53	25,24	0,075	5676	15060	172	10,2	4980	320,00	21,20	4,71	0,350
18/7/2008	9015/08	TK 02	1,93	24,24	0,213	5135	14960	111	42,3	5400	280,00	18,70	5,34	0,233
25/7/2008	9026/08	TK 02	1,52	24,99	0,548	5397	13360	171	42,6	5290	350,00	26,20	3,82	0,221
1/8/2008	9194/08	TK 02	1,65	25,17	0,125	5284	11700	260	57,6	4770	350,00	29,90	3,34	0,159
8/8/2008	9454/08	TK 02	1,49	26,67	0,143	5893	13620	160	49,3	5040	350,00	25,70	3,89	0,128
15/8/2008	9716/08	TK 02	1,62	26,72	0,207	5186	14820	151	48,1	5440	300,00	20,20	4,94	0,113
22/8/2008	9971/08	TK 02	1,70	26,38	0,647	5535	14200	258	48,9	5008	300,00	21,10	4,73	0,262
29/8/2008	10227/08	TK 02	1,54	26,37	0,527	5764	16480	195	42,9	6020	350,00	21,20	4,71	0,117
5/9/2008	10706/08	TK 02	1,51	26,47	0,323	5852	17220	207	46,7	5310	340,00	19,70	5,07	0,284
12/9/2008	10928/08	TK 02	0,98	28,29	0,315	5848	17990	162	40,8	5300	290,00	16,10	6,20	0,133

Data	Amostra	Procedência	OD	Temperatura	Nitrogênio Nitrito	DQO	SST	DBO	Nitrogênio Nitrato	SSV	SSD	IVL	IDL	Cianeto Total
18/9/2008	11732/08	TK 02	1,63	25,78	0,967	4246	11250	131	25,3	3470	250,00	22,20	4,50	0,140
26/9/2008	11442/08	TK 02	1,67	25,47	0,603	5360	15970	183	44,1	4590	250,00	15,70	6,39	0,114
3/10/2008	12272/08	TK 02	1,47	27,67	0,136	5714	19770	136	51,1	4680	300,00	15,20	6,59	0,186
10/10/2008	12291/08	TK 02	1,77	26,11	0,014	6658	16830	142	51,5	4430	270,00	16,00	6,23	0,177
17/10/2008	12307/08	TK 02	1,42	27,58	0,160	5053	16960	117	45,4	4530	350,00	20,60	4,85	0,169
24/10/2008	12326/08	TK 02	2,04	27,46	0,483	5130	16650	87	46,5	4320	350,00	21,00	4,76	0,273
31/10/2008	12345/08	TK 02	1,46	28,80	0,104	5596	16340	82	49,1	4280	250,00	15,30	6,54	0,275
7/11/2008	13833/08	TK 02	1,53	28,53	0,115	5130	20830	157	38,3	6320	330,00	15,80	6,31	0,312
14/11/2008	13852/08	TK 02	1,56	27,61	0,055	4877	13130	157	46,6	4310	280,00	21,30	4,69	0,248
21/11/2008	13871/08	TK 02	1,61	26,95	0,172	5284	12940	184	44,1	4220	300,00	23,20	4,31	0,173
28/11/2008	13890/08	TK 02	1,59	27,72	0,113	4400	13420	160	23,4	4710	300,00	22,40	4,47	0,296
5/12/2008	15113/08	TK 02	1,43	27,50	0,101	5848	14310	235	42,3	4960	300,00	21,00	4,77	0,291
12/12/2008	15132/08	TK 02	1,19	28,26	0,147	5516	17490	212	43,2	6070	300,00	17,20	5,83	0,284
19/12/2008	15151/08	TK 02	1,41	28,12	0,056	5509	13290	190	22,7	4360	300,00	22,60	4,43	0,312
9/1/2009	368	TK 02	1,47	28,32	0,099	7437	10970	105	30,1	3098	300,00	27,30	3,66	0,159
16/1/2009	387	TK 02	1,40	29,60	0,126	5310	13930	166	39,1	4830	270,00	19,40	5,16	0,165

Data	Amostra	Procedência	OD	Temperatura	Nitrogênio Nitrito	DQO	SST	DBO	Nitrogênio Nitrato	SSV	SSD	IVL	IDL	Cianeto Total
23/1/2009	406	TK 02	1,61	28,63	0,077	7622	16240	172	56,1	5210	450,00	27,70	3,61	0,218
6/2/2009	1378	TK 02	1,43	30,18	0,066	6238	15600	101	53,6	4720	430,00	27,60	3,63	0,167
20/2/2009	1416	TK 02	1,62	29,75	1,800	6545	15270	111	19,2	5000	460,00	30,10	3,32	0,264
27/2/2009	1427	TK 02	1,86	30,26	0,585	7614	17050	169	31,6	5200	400,00	23,50	4,26	0,148
6/3/2009	2418	TK 02	1,46	30,73	0,950	6374	16820	178	59,6	5040	550,00	32,70	3,06	0,299
13/3/2009	2437	TK 02	1,75	30,06	0,953	6099	19870	568	59,8	5310	500,00	25,20	3,97	0,272
20/3/2009	2456	TK 02	1,60	29,40	0,078	6024	21220	124	54,7	5560	400,00	18,90	5,31	0,339
27/3/2009	2475	TK 02	2,19	28,57	0,542	6150	27160	204	65,9	5920	400,00	14,70	6,79	0,272
3/4/2009	3496	TK 02	1,88	28,41	0,134	5466	20480	155	63,7	4460	450,00	22,00	4,55	0,133
9/4/2009	3512	TK 02			0,510	4433	18760	161	49,2	4640	450,00	24,00	4,17	0,199
17/4/2009	3531	TK 02	2,34	27,97	0,917	4486	18230	106	37,0	4530	400,00	21,90	4,56	0,341
24/4/2009	-		1,55	28,17										
8/5/2009	4536	TK 02	1,71	26,78	0,316	5027	17180	140	41,6	4420	600,00	34,90	2,86	0,149
15/5/2009	4555	TK 02	1,91	28,12	0,159	5356	17670	239	64,7	4550	500,00	28,30	3,53	0,188
22/5/2009	4574	TK 02	1,88	26,42	1,050	5023	15810		38,2	4380	550,00	34,80	2,87	0,169
29/5/2009	4593	TK 02	1,24	27,48	0,302	5276	15180	236	41,8	4520	550,00	36,20	2,76	0,215

Data	Amostra	Procedência	OD	Temperatura	Nitrogênio Nitrito	DQO	SST	DBO	Nitrogênio Nitrato	SSV	SSD	IVL	IDL	Cianeto Total
5/6/2009	5666	TK 02	1,83		0,587	4652	16040	160	41,4	4610	600,00	37,40	2,67	0,200
19/6/2009	5698	TK 02	1,00	44,47	0,476	5155	13920	151	46,7	4300	700,00	50,30	1,99	0,358
26/6/2009	5717	TK 02	1,25	25,27	0,410	5440	13970	122	30,8	4360	700,00	50,10	2,00	0,440
3/7/2009	6730	TK 02	1,61	25,70	0,434	5860	14000	205	62,3	4270	700,00	50,00	2,00	0,379
10/7/2009	6749	TK 02	1,07	25,75	0,455	5256	18320	183	45,7	5630	600,00	32,80	3,05	1,290
17/7/2009	6768	TK 02	1,91	26,19	0,343	3287		193	29,9	5130	600,00	33,80	2,96	0,552
24/7/2009	6787	TK 02	1,86	26,34	0,048	6387	18170	231	47,4	5230	500,00	27,50	3,63	0,783
31/7/2009	6806	TK 02	1,39	26,78	0,248	2331	12330	167	45,8	4430	450,00	36,50	2,74	0,617
7/8/2009	8026	TK 02	1,78	26,44	0,240	10153	20440	214	49,5	5020	500,00	24,50	4,09	0,575
14/8/2009	8045	TK 02	1,60	25,45	0,084	2057	20230	141	54,3	4650	500,00	24,70	4,05	0,475
21/8/2009	8064	TK 02	1,72	27,03	0,208	3433	20210	85	42,7	5000	500,00	24,70	4,04	0,575
28/8/2009	8083	TK 02	1,96	25,56	0,010	3490	18900	133	51,5		450,00	23,80	4,20	0,589
4/9/2009	9144	TK 02	1,75	27,04	0,080	1606	20540	191	52,1	4280	350,00	17,00	5,87	0,456
11/9/2009	9157	TK 02	1,69	27,58	0,048	7054	18760	106	47,6	4070	290,00	15,50	6,47	0,446
18/9/2009	9176	TK 02	1,40	27,60	0,229	5238	19710	104	41,3	4130	250,00	12,70	7,88	0,455
25/9/2009	9195	TK 02	2,05	27,00	0,105	4040	20540	162	40,4	5740	260,00	12,70	7,90	0,457

Data	Amostra	Procedência	OD	Temperatura	Nitrogênio Nitrito	DQO	SST	DBO	Nitrogênio Nitrato	SSV	SSD	IVL	IDL	Cianeto Total
2/10/2009	10385	TK 02	1,80	26,58	0,037	4880	18500	185	45,3	4200	300,00	16,20	6,17	0,340
9/10/2009	10404	TK 02	1,79	27,91	0,030	6765	16890	170	44,7	3990	300,00	17,80	5,63	0,277
16/10/2009	10420	TK 02	2,17	29,07	0,032	5422	16200	179	51,2	4880	300,00	18,50	5,40	0,297
23/10/2009	10439	TK 02	1,72	28,77	0,207	5867	13450	83,3	49,7	3460	300,00	22,30	4,48	0,590
30/10/2009	10458	TK 02	1,72	27,36	0,057	2867	12190	194	43,3	2990	300,00	24,60	4,06	0,385

RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO EFLUENTE FINAL

Data	Amostra	Procedência	SST	DBO	DQO	Cianeto	Fenóis totais
6/6/2008	6639/08	CL2	5,00	2,00	57,600	0,135	0,019
13/6/2008	7487/08	CL2	5,00	2,00	57,100	0,197	0,01
20/6/2008	7164/08	CL2	3,80	2,00	76,300	0,159	0,016
27/6/2008	7409/08	CL2	5,40	2,00	56,700	0,016	0,01
4/7/2008	8264/08	CL2	6,00	2,00	55,100	0,144	0,01
11/7/2008	9002/08	CL2	1,60	2,00	70,400	0,176	0,01
18/7/2008	9012/08	CL2	6,20	2,00	66,400	0,166	0,01
25/7/2008	9027/08	CL2	17,20	2,00	60,300	0,112	0,01
1/8/2008	9195/08	CL2	1,80	2,00	67,200	0,099	0,01
8/8/2008	9453/08	CL2	8,00	2,00	70,100	0,093	0,01
15/8/2008	9707/08	CL2	10,00	2,00	70,200	0,119	0,01
22/8/2008	9968/08	CL2	15,20	2,00	70,600	0,086	0,017
29/8/2008	10217/08	CL2	5,80	2,00	73,600	0,099	0,01

Data	Amostra	Procedência	SST	DBO	DQO	Cianeto	Fenóis totais
5/9/2008	10712/08	CL2	8,60	2,59	73,700	0,086	0,01
12/9/2008	10937/08	CL2	1,00	2,00	67,300	0,103	0,01
18/9/2008	11146/08	CL2	8,80	3,98	86,500	0,106	0,156
26/9/2008	11448/08	CL2	1,60	2,00	76,800	0,098	0,01
3/10/2008	12270/08	CL2	2,40	2,00	73,000	0,094	0,01
10/10/2008	12289/08	CL2	2,60	2,00	54,500	0,153	0,01
17/10/2008	12305/08	CL2	8,95	2,00	61,000	0,098	0,01
24/10/2008	12324/08	CL2	8,40	2,00	70,500	0,123	0,01
31/10/2008	12343/08	CL2	10,20	2,22	70,400	0,105	0,01
7/11/2008	13829/08	CL2	5,60	2,00	83,400	0,130	0,01
14/11/2008	13848/08	CL2	6,00	2,00	57,600	0,113	0,01
21/11/2008	13867/08	CL2	2,40	2,00	70,400	0,106	0,01
28/11/2008	13886/08	CL2	4,00	2,00	80,000	0,143	0,018
5/12/2008	15109/08	CL2	10,40	2,00	96,100	0,117	0,01

Data	Amostra	Procedência	SST	DBO	DQO	Cianeto	Fenóis totais
12/12/2008	15128/08	CL2	2,00	2,00	67,200	0,133	0,022
19/12/2008	15147/08	CL2	6,20	2,00	70,300	0,149	0,01
9/1/2009	364/09	CL2	8,40	2,00	149,000	0,115	0,01
16/1/2009	383/09	CL2	11,20	2,00	118,000	0,133	0,01
23/1/2009	402/09	CL2	9,20	2,34	101,000	0,114	0,011
6/2/2009	1374/09	CL2	4,00	4,16	142,000	0,112	0,011
20/2/2009	1412/09	CL2	5,20	2,00	80,800	0,116	0,011
27/2/2009	1423/09	CL2	6,40	2,89	121,000	0,096	0,01
6/3/2009	2414/09	CL2	10,40	2,00	75,500	0,132	0,01
13/3/2009	2433/09	CL2	34,00	3,16	120,000	0,103	0,01
20/3/2009	2452/09	CL2	30,40	2,00	109,000	0,172	0,01
27/3/2009	2471/09	CL2	20,80	2,00	80,900	0,098	0,01
3/4/2009	3492/09	CL2	9,20	2,00	80,400	0,087	0,026
9/4/2009	3508/09	CL2	13,20	2,00	60,200	0,085	0,01

Data	Amostra	Procedência	SST	DBO	DQO	Cianeto	Fenóis totais
17/4/2009	3527/09	CL2	23,20	2,00	67,300	0,092	0,01
24/4/2009	3540/09	CL2	38,40	2,00	85,900	0,077	0,011
8/5/2009	4532/09	CL2	9,20	2,00	74,600	0,111	0,01
15/5/2009	4551/09	CL2	16,00	2,00	76,700	0,140	0,01
22/5/2009	4570/09	CL2	25,60	2,00	95,700	0,128	0,01
29/5/2009	4589/09	CL2	12,00	2,00	73,600	0,093	0,01
5/6/2009	5662/09	CL2	13,60	2,00	77,000	0,092	0,01
19/6/2009	5694/09	CL2	12,40	2,00	63,500	0,128	0,014
26/6/2009	5713/09	CL2	28,00	2,00	76,800	0,135	0,01
3/7/2009	6726/09	CL2	20,00	2,00	70,600	0,104	0,01
10/7/2009	6745/09	CL2	50,00	2,00	77,600	0,374	0,01
17/7/2009	6764/09	CL2	62,00	2,00	73,700	0,148	0,01
24/7/2009	6783/09	CL2	45,00	2,00	86,200	0,150	0,012
31/7/2009	6802/09	CL2	76,00	2,00	51,400	0,121	0,01

Data	Amostra	Procedência	SST	DBO	DQO	Cianeto	Fenóis totais
7/8/2009	8022/09	CL2	65,00	2,00	67,200	0,131	0,01
14/8/2009	8041/09	CL2	63,00	2,00	57,000	0,109	0,01
21/8/2009	8060/09	CL2	53,00	2,00	57,500		0,01
28/8/2009	8079/09	CL2	29,00	2,00	50,800	0,116	0,08
4/9/2009	9140/09	CL2	44,00	2,00	51,400	0,116	0,03
11/9/2009	9153/09	CL2	33,60	2,00	80,200	0,119	0,01
18/9/2009	9172/09	CL2	24,80	2,00	82,500	0,127	0,01
25/9/2009	9191/09	CL2	42,00	2,00	85,500	0,137	0,01
2/10/2009	10381/09	CL2	32,00	2,00	70,400	0,138	0,01
9/10/2009	10400/09	CL2	61,20	2,00	77,300	0,123	0,01
16/10/2009	10416/09	CL2	29,60	7,25	67,000	0,172	0,01

APÊNDICE C – TESTES ESTATÍSTICOS

Ciliados andarilhos x DBO (licor)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 63

Spearman $r = -0.1277$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.3704 to 0.1315

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.3187, considered not significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Ciliados andarilhos x DQO (licor)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 64

Spearman $r = -0.07213$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.3191 to 0.1841

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.5711 , considered not significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken too long.

* * *

Ciliados andarilhos x pH (licor)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 64

Spearman $r = 0.3513$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.1080 to 0.5548

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0044, considered very significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Rotífero x cianeto (licor)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 64

Spearman $r = -0.3149$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.5259 to -0.06744

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0113 , considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken too long.

* * *

Bactérias filamentosas x DQO (licor)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 64

Spearman $r = 0.2207$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.03399 to 0.4485

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0796, considered not quite significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias filamentosas x fenóis (licor)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 64

Spearman $r = 0.2295$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.02473 to 0.4559

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0681 , considered not quite significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Rotífero x temperatura (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.2683$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.01231 to 0.4914

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0350, considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Rotífero x SSD (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.3542$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.1071 to 0.5601

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0047, considered very significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken too long.

* * *

Rotífero x SST (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 61

Spearman $r = 0.3047$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.04958 to 0.5224

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0170, considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Rotífero x nitrato (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.3534$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.1062 to 0.5595

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0048, considered very significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias nitrificantes x temperatura (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 61

Spearman $r = -0.2142$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.4483 to 0.04745

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0974, considered not quite significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias filamentosas x SSD (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.6059$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.4133 to 0.7466

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is < 0.0001 , considered extremely significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias filamentosas x temperatura (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.2781$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.02283 to 0.4993

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0286, considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias filamentosas x IVL (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.4346$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.2001 to 0.6220

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0004, considered extremely significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias filamentosas x IDL (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = -0.4346$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.6220 to -0.2001

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0004, considered extremely significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Bactérias filamentosas x nitrito (TK2)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.4325$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.1976 to 0.6205

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0004, considered extremely significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Rotífero x remoção % cianeto

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = -0.2527$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.4785 to 0.004512

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0476, considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Rotífero x remoção % SST

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = -0.2543$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.4799 to 0.002753

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0461 , considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken too long.

* * *

Rotífero x SST (CL-02 - efluente final)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 63

Spearman $r = 0.3242$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.07557 to 0.5348

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0095, considered very significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Ciliados andarilhos x SST (CL-02 - efluente final)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 63

Spearman $r = 0.02965$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.2269 to 0.2823

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.8176, considered not significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken too long.

* * *

Densidade Total x SST (CL-02 - efluente final)

Spearman Rank Correlation

Number of points = 63

Spearman $r = -0.2548$ (corrected for ties)

95% confidence interval: -0.4786 to $-1.527E-05$

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0438 , considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken

too long.

* * *

Densidade Total x remoção % DQO

Spearman Rank Correlation

Number of points = 62

Spearman $r = 0.3245$ (corrected for ties)

95% confidence interval: 0.07371 to 0.5366

Test: Is r significantly different than zero?

The two-tailed P value is 0.0101, considered significant.

The P value is approximate because exact calculations would have taken too long.

* * *